

Классическое научное наследие
Физическая культура

Н.А. БЕРНШТЕЙН

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ
по биомеханике и кибернетике



ТВТ Дивизион
Москва 2019

УДК 796.012
Б 51

Бернштейн, Н. А.

Б 51 Избранные труды по биомеханике и кибернетике [текст] / Н.А. Бернштейн. 2-ое издание. – М.: ТВТ Дивизион, 2019. – 320 с.

ISBN 978-5-98724-135-6

Николай Александрович Бернштейн (1896-1966) – выдающийся отечественный исследователь с мировым именем. Авторитетные ученые относят его научные труды к тому же классу, что и труды И.М. Сеченова, А.А. Ухтомского, И.П. Павлова.

Тонкий экспериментатор и глубокий мыслитель, заложивший основы современной биомеханики и теории управления движениями человека, созданное им новое направление исследований мозга – «физиология активности» – явилось воплощением системного подхода в изучении поведения человека и животных.

Работы Бернштейна имеют колоссальное значение для всего комплекса наук о мозге, начиная с собственно нейрофизиологии и кончая проблемами нейролингвистики, искусственного интеллекта, создания роботов, тренировки спортсменов и космонавтов.

УДК 796.012

ISBN 978-5-98724-135-6

© Н.А. Бернштейн 2001, 2017, 2019
© Оформление, СпортАкадемПресс, 2001, 2019
© Оформление ТВТ Дивизион, 2017, 2019

Содержание

Биомеханика для инструкторов.....	4
Предисловие.....	5
Лекция 1	7
Лекция 2	21
Лекция 3	33
Лекция 4	49
Лекция 5	62
Лекция 6	79
Лекция 7	98
Лекция 8	114
Лекция 9	133
Лекция 10	147
Статьи по биомеханике.....	163
Некоторые данные по биодинамике бега выдающихся мастеров	
I. Опорная динамика бега	164
Некоторые данные по биодинамике бега выдающихся мастеров	
II. Динамика ноги при беге	178
Биодинамика стартовых движений	196
Статьи по кибернетике	219
Исторические истоки кибернетики и перспективы применения ее в медицине	220
Новые линии развития в современной физиологии.....	237
Новые линии развития в физиологии и их соотношение с кибернетикой	244
О перспективах математики в биокибернетике	268
Предисловие// Чхаидзе Л.В.	292
Проблемы моделирования в биологии активности	307

Др Ник. БЕРНШТЕЙН

БИОМЕХАНИКА ДЛЯ ИНСТРУКТОРОВ

(Лекция на курсах инструкторов
Промышленного Экономическ. Отд. Москпроффобра)

Предисловие

Настоящий курс составился из лекций, читанных мною в июле-августе 1925 года на курсах по переподготовке инструкторов производственного обучения Москпрофобра. Он представляет собою переработку стенограмм подлинного курса, но переработку настолько основательную, что в ней не оставлено дословно почти ни одного отрывка. Живая речь перед аудиторией всегда резко отличается от тех форм, какие мы привыкли видеть в печати: она поневоле отрывочна, мимолетна, не всегда строго распланирована. Выражения интереса, недоумения, вопроса на лицах слушателей, которые невидимы для читающего стенограмму, постоянно влияют на лектора, заставляя его отклоняться, уточнять свои выражения и пояснять малоопытные места.

Тем не менее мне была дорога самая форма живой речи; я остаюсь при убеждении, что такое повествование возбуждает самостоятельность читателя и заставляет его активно следить за развертывающейся цепью мыслей. Я бережно сохранил все вопросы, примечания, даже ошибки моих слушателей, так как они естественны и обычны, и читатель, вероятно, не раз поставит себя самого на место моих собеседников по аудитории.

Только летом этого года мною был закончен первый том большого руководства по биомеханике под названием «Общая биомеханика», выходящий ныне в издании Р.И.О. ВЦСПС. Естественно, что многие отделы только что написанной книги должны были, хотя и в сильно измененном виде, войти и в читаемый курс, и в настоящую переработку его. Следует, однако, спросить, стоило ли при этих условиях издавать предлагаемый краткий курс и не представляет ли он собою повторения того, что уже раз сказано в другом месте?

Нет, это отнюдь не повторение. Начать с того, что при всем моем старании сделать книгу «Общая биомеханика» легко доступной, она все же не легка для усвоения молодежи, владеющей познаниями в объеме курса 1-й ступени. Поскольку она является первым на русском языке руководством по этому предмету, она обязана быть обстоятельной, и потому я не мог уберечь ее ни от латинских названий, ни от математических выражений. То общее по содержанию, что есть в настоящем курсе

с упомянутой книгой, есть сильно популяризированный и сокращенный пересказ, который, я думаю, может быть в этой форме доступен для любого профшкольца и фабзавучника.

Второе и главное оправдание этого курса в том, что он и по плану, и по содержанию не менее отличается от книги, нежели по характеру изложения. Две лекции курса посвящены введению в методику изучения движений и краткой истории этого изучения, что никак не затронуто в «Общей биомеханике». Последняя лекция посвящена разбору одного из типичных трудовых движений — работы молотком, что опять-таки в популярном виде публикуется мною впервые.

Я не пытался придать настоящему курсу сугубо прикладного характера и сделать его чем-то вроде сборника рецептов. Он прикладной лишь постольку, поскольку пытается дать краткий систематический разбор человеческой машины и ее возможностей; его задача — приучить читателя мыслить по отношению к учебнику — фабзавучнику и профшкольцу — механически, так, как он мыслит по отношению к станку. Если эта задача хоть на малую долю выполнена, прикладная цель курса осуществлена.

Курс рассчитан на совсем мало подготовленного читателя. Самое большее, чего я могу от него потребовать, — это знания четырех правил арифметики и начатков механики и черчения. Может ли этот курс служить для самостоятельного ознакомления с биомеханикой, покажет, конечно, будущее. Я рассчитываю на него пока как на повторительное пособие для тех, кто в той или иной форме уже получил биомеханическое воспитание в кружке физкультуры, фабзавуче, на моих лекциях и т.д., поэтому курс и издается на правах рукописи.

Не могу не поблагодарить здесь тов. М.В. Пшеничникова, так горячо отнесшегося к идее и изданию курса и так много способствовавшего его осуществлению. Всех тех товарищей, которые прослушали этот курс в натуре, я очень прошу сообщать мне свои возражения, сомнения и вопросы.

*Д-р Ник. Бернштейн.
Москва, октябрь 1925 г.*

Лекция 1

Товарищи! Биомеханика в точном переводе значит механика жизни. В сущности это есть наука о том, как построена живая машина, т.е. каждый из нас; о том, как устроены движущиеся части этой машины и как они работают. Знакомство с живой машиной необходимо для того, чтобы путем умелого обращения с ней добиться наилучшей и наиболее производительной работы.

Вы понимаете, что законы механики повсюду одни и те же, касается ли дело паровоза, станка или человеческой машины. Значит, нам не придется выводить какие-то новые, особые механические законы. Мы должны только составить описание и характеристику живой машины так, как мы сделали бы это для автомобиля, ткацкого станка и т.п.

Разница между обоими видами описания заключается только в том, что человеческая машина гораздо сложнее и прихотливее, чем любая из когда-либо существовавших искусственных машин. Поэтому в наших знаниях по биомеханике гораздо больше пробелов, чем, например, в знаниях по строительной механике или по машиноведению. Здесь еще много темных мест, много такого, о чем можно говорить только приблизительно.

Другая разница состоит вот в чем. Каждый из вас может надеяться изобрести какую-либо новую искусственную машину или приспособление, затем взять на него патент и тотчас же претворить свою мысль в дело, т.е. построить свое изобретение. К сожалению, усовершенствовать человеческую машину, подчинить ее конструкции своему произволу пока невозможно. Нам приходится принять ее к сведению как она есть, со всеми ее достоинствами и недостатками. Нам предоставлены только косвенные обходные приемы, чтобы миновать ее недостатки и в полной мере использовать преимущества.

Человеческое тело состоит из ряда звеньев, соединенных между собой шарнирами-сочленениями и способных вращаться одно относительно другого. Каждое такое звено мы можем на первое время считать твердым, не меняющим своей формы. Например, каждый из ваших пальцев состоит из трех звеньев. Опорой этим звеньям служат кости, но их подробное описание интересует нас очень мало. Для биомеханики гораздо важнее вопрос о том, как сочленены между собой звенья человеческой машины, и какова их взаимная подвижность.

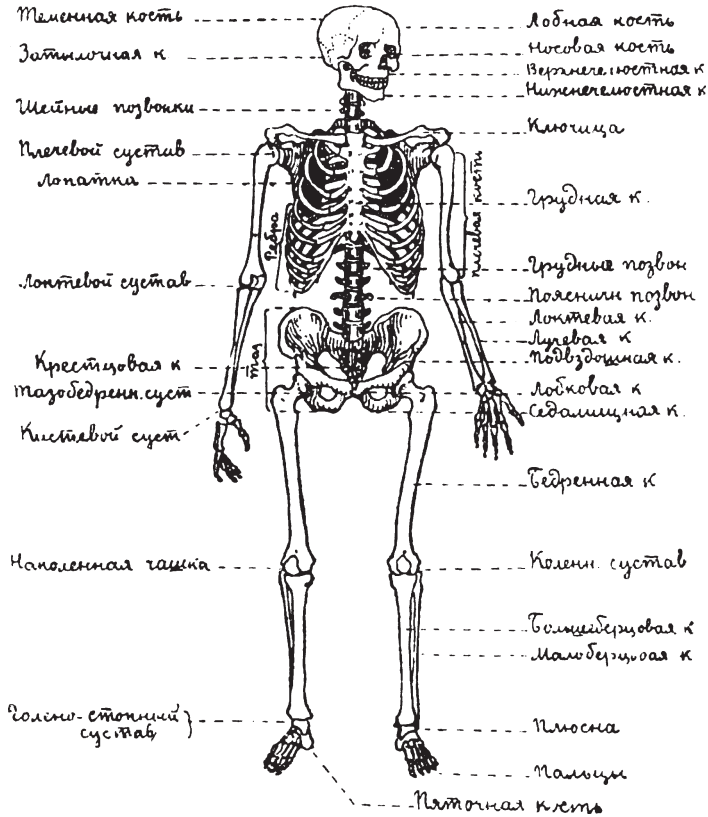
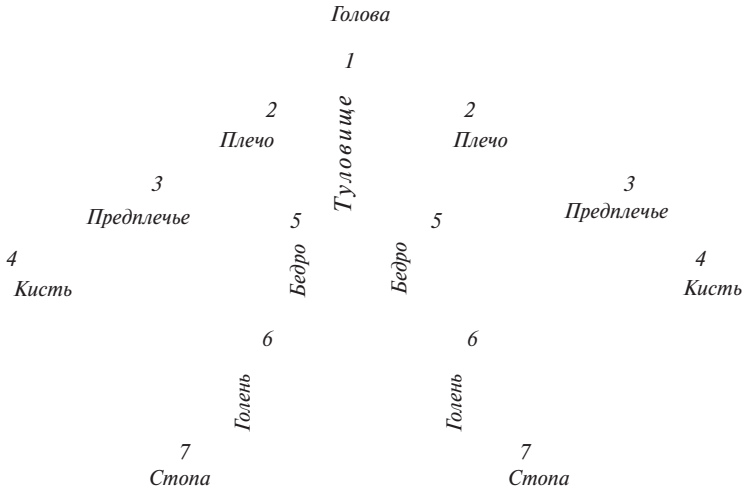


Рис. 1. Костный скелет человека

Скелет человека (рис.1) состоит, круглым счетом, из 170 отдельных костей, которые все более или менее взаимно подвижны. Однако рассматривать все имеющиеся между ними сочленения значило бы для нас зайти слишком далеко. Прежде всего мы сильно упростим скелет человеческой машины, превратив его в то, что будем называть сокращенной схемой человеческого тела.

Мы будем в дальнейшем принимать все туловище вместе с шеей за нечто целое и уже не будем обращать внимания на взаимную подвижность его частей, в действительности довольно значительную. Другим, таким же неизменяемым звеном, мы будем считать голову, отвлекаясь и от ее внутренней подвижности (движения нижней челюсти и т.д.). Конечности мы будем делить каждую на три части. Тогда сокращенная схема получает следующий вид:



Сочленения между этими звеньями мы обозначим так:

- 1 – шейно-затылочное сочленение.
- 2 – плечевое с.
- 3 – локтевое с.
- 4 – лучезапястное с.
- 5 – тазобедренное с.
- 6 – коленное с.
- 7 – голеностопное с.

У вас должен возникнуть вопрос о том, по каким причинам человеческое тело получило вид именно такой схемы. Только ознакомившись с тем, как возник и развивался скелет позвоночных животных, можно отдать себе отчет в этих причинах. Ведь в созидании человеческой машины не участвовал инженер, который мог бы представить нам проект ее конструкции и объяснительную записку с мотивировкой.

Начнем с туловища. Рассмотрев строение туловища рыбы или змеи, вы увидите, что оно представляет собою цепочку из отдельных члеников, сочлененных друг с другом. От каждого членика – позвонка – в обе стороны отходят костные перекладки – ребра, связанные между собой упругими растяжками – мышцами. Это самая первоначальная схема строения позвоночного животного. Точно так же в начале своего развития построен человеческий зародыш. Опорным стержнем его тела первоначально служит гибкая палочка – спинная струна; впоследствии на ее месте развивается цепочка костяных позвонков – позвоночный столб. Со всех сторон спин-

ной струны возникают мышечные растяжки, которые укрепляют спинную струну и в то же время обеспечивают ей гибкость.

Более новым добавлением к этой древнейшей системе являются конечности. У всех позвоночных животных: рыб, пресмыкающихся, птиц и млекопитающих конечности построены по одному основному плану; по существу они не изменились.

Основная схема конечности напоминает собою кисть; она присоединена к телу посредством одной кости; с этой костью сочленены целых две и т.д., пока к концу такая конечность не превратится в целую связку лучеобразно расположенных костей. Так построены, например, передние плавники рыб.

Совершенно сходно устроены конечности и у человека. Верхнее звено конечности (плечо, бедро) состоит из одной кости, следующее звено (предплечье, голень) из двух; дальше следуют в несколько рядов мелкие косточки и, наконец, концевые звенья (кисть, стопа) из пяти лучей — пальцев.

С того времени, как конечности перестали выполнять обязанности плавников и приспособились к перемещению тела по суше, они претерпели ряд изменений. Самую первоначальную форму конечностей, приспособленных для ходьбы, находим мы у ящерицы (рис. 2 сверху). Все четыре конечности ящерицы расположены под прямым углом к позвоночному столбу, так что бедренные и плечевые кости лежат горизонтально, а голени и предплечья направлены вниз. При этом устройстве конечности еще мало работоспособны. Прежде всего, будучи раздвинуты далеко в стороны, они не могут поддерживать туловище животного на весу, и ящерица вынуждена влачить его по земле (пресмыкаться). Во-вторых, конечности ее не приспособлены к тому, чтобы качаться взад и вперед, как это необходимо для ходьбы. Для того, чтобы идти, ящерице приходится опираться на одну ногу и затем с помощью мышц всего туловища поворачиваться кругом этой ноги наподобие циркуля. Легко понять, насколько это неэкономно.

Конечности млекопитающих претерпели, по сравнению с этой схемой, любопытные изменения. Представьте себе, что задние конечности повернулись на 90 градусов вперед, передние на столько же назад, так что получилось расположение, изображенное на средней части рис. 2. И здесь верхний отрезок конечности состоит из одной кости, средний — из двух, самый нижний — из многих мелких косточек, но положение их относительно туловища уже иное.

Прежде всего вам ясно, что при новом расположении туловища уже значительно легче поддерживать на весу, так как подпорки приходится прямо под туловищем, а не далеко в стороны от него, как было раньше. При этом несколько подогнутые навстречу друг к другу срединные сочленения

служат своего рода рессорами: они могут складываться и смягчать толчки, направленные как спереди, так и сзади.

Во-вторых, вы поймете, что теперь, когда оси всех сочленений конечностей повернулись в поперечном направлении, конечности могут уже беспрепятственно качаться вперед и назад, т.е. совершать как раз те движения, которые необходимы для ходьбы. Очевидно, ходьба может теперь совершаться проще и с меньшими усилиями, чем это было у пресмыкающихся.

Мы оставили с вами без внимания одно событие, которое неминуемо должно было сопровождать описанный сейчас поворот конечностей. Ведь передние конечности повернулись под прямым углом назад — значит их нижние звенья (кисти) должны были оказаться обращенными тоже назад. Действительно, чтобы вернуть их в правильное положение — пальцами вперед — средним звеньям пришлось перекрутиться вокруг оси, так что их кости должны были скреститься наподобие буквы х. Такой поворот имеется у млекопитающих; у человека он возможен, но не постоянен: человек может совершать его по желанию. К этому движению мы еще вернемся.

Между строением тела человека и четвероногих млекопитающих нет существенной разницы, кроме некоторого изменения пропорций. Между тем человеку приходится стоять вертикально и ходить на двух ногах, так что механические условия работы его тела совершенно иные, чем у четвероногих. Все строение человеческого скелета приспособлено, между тем, к условиям четвероногого образа жизни. В нем масса остатков, еще до сих пор не переделанных для двуногого существования. Многие детали

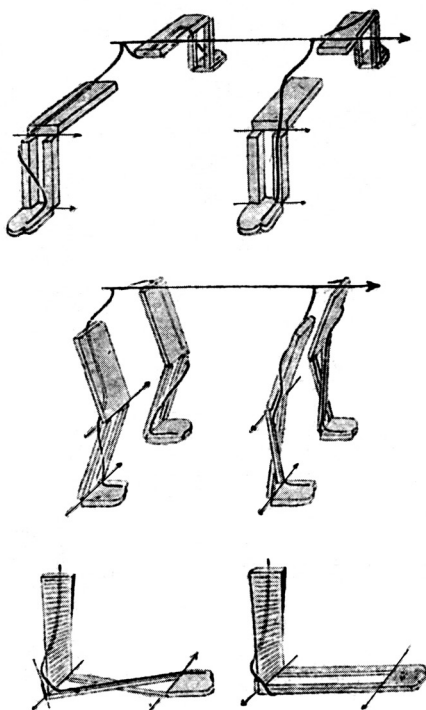


Рис. 2. Схема, изображающая развитие конечностей позвоночных. Наверху — конечности ящерицы, посередине — конечности четвероногого млекопитающего. Внизу — механизм пронации и супинации (см. лекцию 3 по Браусу)

человеческой машины, которые были бы совершенно понятны, если бы мы ходили на четырех ногах, оказываются совершенно неподходящими и прямо вредными при двуногом образе жизни. Достаточно будет упомянуть о строении женского таза; каждый из вас знает, насколько труднее, болезненнее и опаснее совершаются роды у человека, чем у четвероногих. Необходимость в акушерских больницах сильно зависит от того, что человек стал ходить вертикально, не переделав своих двигательных конструкций.

Перейдем теперь к строению сочленений.

Сочленяемые кости не соприкасаются непосредственно друг с другом; они выстланы в месте сочленения упругим сочленовным хрящом. Хрящи обеих костей очень точно пригнаны друг к другу: если одна кость имеет на конце головку, то вторая оканчивается впадиной как раз подходящего размера и формы. Все сочленение заключено в непроницаемую сумку, внутри которой, таким образом, получается маленькая полость. Сумка эта укрепляет сочленение и в то же время служит для него смазочным аппаратом: внутренняя оболочка ее выделяет, капля за каплей, жидкость, постоянно смазывающую трущиеся поверхности хрящей.

Сочленений только что описанного вида в человеческом теле большинство. Это наиболее совершенная конструкция, но у человека попадаются и более грубые старинные формы. На рис. 3 изображен продольный распил трех позвонков. Вы видите, что их соединение осуществлено очень просто: между ними проложена гибкая хрящевая подушка, которая обеспечивает позвонкам небольшую взаимную подвижность. Между таким тугоподвижным хрящевым сращением и настоящим сочленением существуют всевозможные переходные формы, на которых мы останавливаться не будем.

Важная разница между человеческими сочленениями и машинными соединениями заключается в способе закрепления соединенных частей. Машинные подшипники по большей части строятся так, что одна часть целиком охватывает другую, так что между ними получается жесткая связь. У человека таких охватывающих приспособлений нет, и потому закрепляющая связь

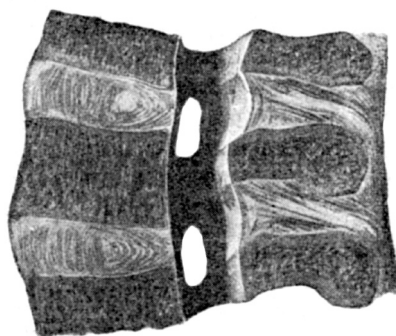


Рис. 3. Продольный распил трех позвонков. Слева — губчатые тела позвонков, соединенные хрящевыми подушками; справа — остистые отростки позвонков, сращенные между собой связками. Посредине — канал для спинного мозга с отверстиями для входа и выхода нервов (по Шпальтегольцу)

осуществляется иначе. Вы помните, что все сочленение бывает заключено в непроницаемую сумку. Эта сумка состоит из довольно прочной сухожильной ткани, которая большей частью бывает еще укреплена вспомогательными связками. Таким образом сама сумка может уже обеспечить сочленению некоторую прочность. Но этого мало. Представьте себе, что мы попытаемся растянуть сочлененные кости в стороны друг от друга. Но так как сочлененная сумка непроницаема для воздуха, то у вас получится попытка увеличить размер сочленованной полости, не впуская в нее воздуха. Этому будет препятствовать воздушное давление. Раздвинуть сочлененные кости окажется так же трудно, как разнять два сложенные вместе полые полушария, из которых выкачан воздух. Сила воздушного давления в тазобедренном сочленении достигает полутора пудов, т.е. вдвое превышает вес всей нижней конечности. Ученые проделали такой опыт. Нижнюю конечность трупа совершенно освобождали от мышц, заставляя ее висеть на одной только сочленованной сумке. К этой конечности подвешивали снизу еще груз. Конечность прочно держалась на своем месте; но достаточно было прорезать маленькое отверстие в сумке, как сейчас же в полость сочленения с шумом входил воздух, и сочленованные поверхности немедленно расходились.

Это еще не все. Сочленения окружены со всех сторон мышцами, которые сращены с обеими сочлененными костями. Мышцы со своей стороны обладают большой прочностью на растяжение. Притом они постоянно несколько натянуты и содействуют закреплению сочленения в еще большей мере, чем воздушное давление.

Перейдем теперь к тому, какова взаимная подвижность сочлененных костей и как определить эту подвижность. Предупреждаю вас, что это довольно сложный вопрос. Пусть кто-нибудь из товарищей выйдет сюда и покажет, как движется у него плечевое звено в плечевом сочленении. Вы видите, что он может поворачивать плечо вперед, назад и в стороны. Вы знаете, что стержень, который одним концом закреплен, а другим концом может свободно двигаться во все стороны, будет постоянно двигаться этим концом по поверхности шара. По такой шаровой поверхности движется и нижний конец плечевого звена. Так как его подвижность не ограничена при этом какой-нибудь одной линией, а целой поверхностью, то мы говорим, что он имеет две степени подвижности. Но это еще не все. Я буду удерживать нижний конец плечевого звена нашего испытуемого неподвижно в каком-нибудь одном положении. Может ли он при этом еще как-нибудь двигать плечом?

Слушатели. Нет, не может.

Лектор. Так ли? Согните руку в локте под прямым углом. Можете ли вы двигать рукою так, как если бы предплечье было спицей, а плечо осью, поворачивающейся кругом самой себя?

Испытуемый. Могу.

Лектор. При этом нижний конец вашего плеча, который я удерживаю пальцами, не меняет своего положения в пространстве. Значит, плечо имеет всего целых три степени подвижности. Итак мы говорим об одной степени подвижности, когда звено может двигаться только по одной линии; о двух степенях, когда его конец может двигаться по целой поверхности; и о трех степенях, когда звено может при этом поворачиваться еще вокруг своей продольной оси. Теперь попробуйте сами и скажите, сколько степеней подвижности имеет ваше локтевое сочленение?

Слушатели. Одну степень.

Лектор. Совершенно верно, это будет сгибание и разгибание локтя: ведь нижний конец предплечья может двигаться только по дуге круга. В человеческом теле есть сочленения и с двумя степенями подвижности, — таково, например, голеностопное сочленение. Держите голени неподвижно и попробуйте сделать всевозможные движения стопой. Вы видите, что носок ноги может двигаться в разных направлениях по какой-то поверхности, но вращаться вокруг своей продольной оси стопа уже не в состоянии.

Теперь поставим себе вопрос о том, какие формы должны иметь сочленовные окончания для того, чтобы давать различные степени подвижности. Начнем с одной степени подвижности.

Будет всего удобнее, если мы рассмотрим сначала машинные соединения. Очевидно, простой цилиндрический подшипник имеет только одну степень подвижности. Действительно, если ось колеса соединена с помощью такого подшипника со станиной, то каждая точка колеса может двигаться только по одной единственной линии — окружности. Значит, соединение цилиндрического типа будет обладать одной степенью подвижности. Однако, если бы наш цилиндр не имел закраин, то он мог бы смещаться еще и вдоль своей оси, т.е. обнаружил бы и вторую степень подвижности. Так ведут себя, например, шестерни автомобильной коробки скоростей. Если же цилиндр снабжен закраинами, то, очевидно,

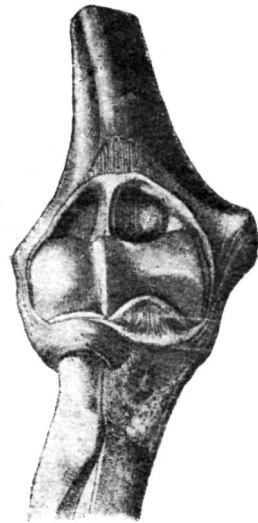


Рис. 4. Локтевое сочленение правой руки, вскрытое спереди. Хорошо видны блок плече-локтевого и шарик плече-лучевого сочленения. А— плечо, Б—локтевая, В— лучевая кость (по Тольдту)

форма у этих закраин может быть какая угодно, лишь бы все тело в целом было круглым, представляло бы собой то, что называют телом вращения.

К телам вращения относятся, например, такие тела, как блок, катушка, круглый самовар, колонна и т.д. Все сочленения, в состав которых входят тела вращения, будут, следовательно, обладать одной степенью подвижности.

Рассмотрим для примера сочленения между плечевой и локтевой костями. Вы видите (рис. 4), что плечевая кость оканчивается внизу катушкой. На том конце локтевой кости, который сочленяется с плечом, имеется соответствующей формы выемка, ограниченная сверху и снизу двумя выступами кости. Если катушка и выемка точно пригнаны друг к другу, то они будут взаимно подвижны в одном направлении; значит, любое тело, плотно соединенное с катушкой, будет и само иметь только одну степень подвижности в рассматриваемом сочленении. Мы уже имели случай убедиться, что локтевое сочленение действительно относится к одностепенным.

Мы можем представить себе и другие виды одностепенных соединений: таково будет, например, соединение между крейцкопфом и его направляющими в паровой машине, соединение между винтом и гайкой и т.д. Однако в живой машине эти типы одностепенных соединений не встречаются. Обратимся теперь к соединениям трехстепенным. После всего рассказанного вы легко поймете, что соединение с помощью так называемой шаровой головки имеет три степени подвижности. Все трехстепенные сочленения человеческой машины как раз и построены по типу шаровых соединений¹.

На рис. 5 изображен разрез тазобедренного сочленения человека. Вы видите, что бедро сверху кончается правильной шаровой головкой и что эта головка плотно входит во впадину тазовой кости, имеющую форму полушария. Сделав проверку на самих себе, вы легко убедитесь, что бедро имеет относительно туловища три степени подвижности, точно так же, как и плечо.

В природе не существует таких поверхностей, которые могли бы дать две, и только две, степени подвижности друг относительно друга, оставаясь в то же время плотно приложенными одна к другой².

Какую бы поверхность вы ни брали, она даст вам непременно или одну степень подвижности относительно другой подобной, или уже сразу целых три степени (или, может быть, ни одной, если одну поверхность

¹Трехстепенное межчелюстное сочленение многосложнее и не относится к шаровым.

² Трехстепенное межчелюстное сочленение много сложнее и не относится к шаровым.

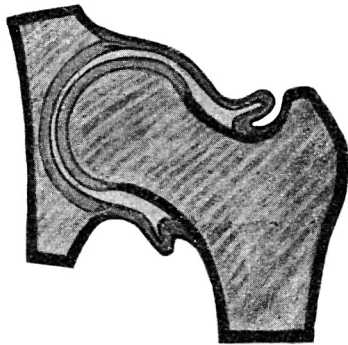


Рис. 5. Разрез шарового тазобедренного сочленения (по Моллиеру)

никак нельзя сдвинуть с другой, не нарушив их соприкосновения).

Проверим себя на примере. Возьмем две соприкасающиеся плоскости, например, вот этот диапозитив, положенный на стол. Сколько степеней подвижности имеет он относительно стола?

Слушатели. Две степени.

Лектор. Какие же это две степени?

Слушатель. Он может двигаться по поверхности.

Лектор. Вы хотите сопоставить его движение с движением конца плечевой кости по шаровой поверх-

ности? В этом вы совершенно правы, но ведь диапозитив может в каждой точке поверхности стола, куда вы его приведете благодаря двум степеням его подвижности, еще вращаться вокруг самого себя, как и плечо. Это будет уже третья степень подвижности. Впрочем, плоскость есть ведь только частный случай шара: ее можно рассматривать как часть шара бесконечно большого поперечника. Рассмотрим какие-нибудь другие поверхности. Предложите сами.

Слушатели. Какую подвижность имеет колесо на рельсе?

Лектор. Если колесо может только катиться по рельсу, но не скользить, то его подвижность одностепенна. Однако этот пример нам не подходит, так как колесо не прикасается к рельсу целой поверхностью. Дайте другой пример.

Слушатель. Пробка в графине?

Лектор. Как вам кажется?

Слушатель. Одну степень?

Лектор. Если пробка имеет форму конуса, то конечно одну степень, — вращение вокруг оси. Когда вы вынимаете пробку из графина, вы сейчас же нарушаете ее соприкосновение с ним. А не найдете ли вы примера поверхности, не имеющей ни одной степени подвижности относительно другой подобной поверхности? Вас это затрудняет? Например, печатный стереотип и матрица, из которой он отливается. Можете ли вы, наложивши один на другую, сдвинуть их, не нарушая их соприкосновения? Очевидно, нет. В человеческом теле есть соединения костей как раз по этому типу, лишенные всякой подвижности. Таковы, например, соединения костей черепа между собою.

Вернемся, однако, к подвижным сочленениям живой машины. Я уже упоминал, что в ней встречаются двухстепенные сочленения, и притом не цилиндрического типа. Как же согласовать это с только что высказанным правилом о подвижности поверхностей?

Дело в том, что сочленовные поверхности человеческой машины несколько податливы и гибки. Поэтому они могут сохранять взаимное соприкосновение и тогда, когда они не вполне точно подходят друг к другу. Живая машина знает несколько типов сочленений, которые становятся возможны только благодаря хрящевой гибкости. Сюда относятся т.-н. седловидные и яйцеобразные сочленения.

Вообразите себе поверхность, имеющую форму английского седла, т.е. выпуклую в одном направлении и вогнутую в другом. Если с этой поверхностью соприкасается другая, подобной же формы и лишенная всякой гибкости, то они не будут иметь вообще никакой взаимной подвижности. Если же они могут несколько менять свою форму, то подвижность будет как раз двухстепенной. Раз мы уже взяли в качестве одной поверхности седло, то в качестве второй возьмем всадника. Действительно, всадник может, не меняя положения ног, наклоняться вперед и назад и съезжать с седла в стороны, но уже не может вращать свое тело вокруг оси, т.е. поворачиваться вправо и влево. Таким седловидным устройством обладает, например, сочленение между запястьем и пястной костью большого пальца руки (рис. 6).

Другой вид двухстепенного сочленения, также возможный только благодаря податливости хрящей, есть т.-н. яйцевидное сочленение. Представьте себе впадину, вырезанную из боковой, более плоской, части яичной скорлупы. Если вы вложите в такую впадину боком целое яйцо, то оно также будет иметь в ней две степени подвижности: его можно будет несколько качать во все стороны, но нельзя будет вертеть во впадине вокруг вертикальной оси наподобие волчка. К такому типу принадлежит, например, сочленение между головой и первым шейным позвонком.

В человеческом теле есть сочленения, которые еще в большей мере пользуются гибкостью хрящей. На рис. 7 изображен продольный распил коленного сочленения. Вы видите, что поверхности обеих соединяющихся здесь костей ни в какой мере не подходят друг к другу; начать с того, что обе они выпуклы. Для того, чтобы обеспечить широкое со-



Рис. 6. Седловидное сочленение между костями А и В, дающее две степени подвижности

прикосновение таких несходных поверхностей, между обеими костями (бедренной и большой берцовой) проложен третий промежуточный хрящ двояковогнутой формы. Благодаря ему сочленение в целом получает не то одну, не то две степени подвижности в зависимости от своего положения и от степени податливости сочленовных связок данного лица.

Все, что говорилось до сих пор, относится только к способу или характеру подвижности соединенных частей. Здесь ничего еще не предрешено о том, в каких границах возможны движения в данном сочленении. Очевидно, что одностепенные и трехстепенные сочленения могут быть и широко подвижными, и очень малоподвижными. Например, хрящевое сращение двух позвонков обладает, по крайней мере, тремя степенями подвижности, так как упругий хрящ одинаково податлив во всех возможных направлениях. Но по каждому из этих направлений позвонки подвижны очень мало: всего на 5° - 10° . С другой стороны локтевое сочленение с одной единственной степенью подвижности имеет очень широкие границы подвижности: 140° и выше. Мы еще рассмотрим впоследствии границы подвижности отдельных главных сочленений человеческого тела и способы описания этих границ.

Пока что мы пересмотрели с вами, какие формы сочленений вообще пушены в дело при конструкции живой машины. Мы познакомились с прейскурантом возможных сочленений. Как они в действительности размещены и как действуют, мы разберем в третьей лекции; а сейчас вкратце познакомимся со строением и механическими свойствами костей, которые связываются этими сочленениями и представляют собою главную жесткую опору тела.

Кость обладает огромной и разносторонней механической прочностью. Ее крепость на разрыв мало отличается от крепости чугуна. Ее сопротивление раздавливанию или излому превышает сопротивление дуба. В общем прочность кости приближается к прочности латуни. В то же время костные сооружения чрезвычайно легки. Удельный вес кости немногим меньше двух. Чем же достигается такая крепость кости? Из какого же вещества она состоит?

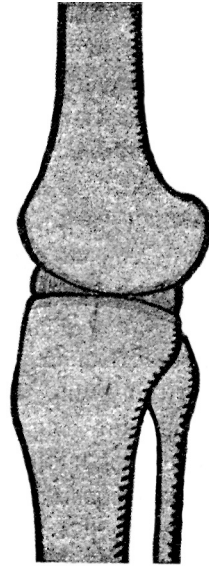


Рис. 7. Схематизированный продольный разрез коленного сочленения. Видна двояковогнутая хрящевая прокладка (По Молиеру)

Химический состав кости не сложен: она состоит в наибольшей части из рыхлых известковых солей, главным образом, из фосфорно-кислой извести. Это вещество знакомо нам и из мертвой природы и не отличается никакой особой прочностью.

Ответить на наш вопрос можно только, если рассмотреть внутреннее строение кости. Прочность кости зависит не от того, что она построена из прочного вещества, а от того, что она умно построена. Если отшлифовать маленькую и тоненькую пластинку кости и изучать ее под микроскопом, то можно увидеть, что костное вещество состоит целиком из тончайших трубочек, пронизанных очень тонкими каналами. Просвет этих каналов так мал, что в него не прошел бы и волос. Весь секрет прочности кости заключается в строении стенок этих костных канальцев.

Стенка такого канальца состоит из ряда слоев, и каждый слой представляет собою сеточку из тончайших волоконцев, пропитанную известковыми солями. Если вы знакомы с железобетонными конструкциями, то вы увидите в строении стенок костных канальцев большое сходство с этими конструкциями. Волокнистые сеточки соответствуют арматуре железобетонных балок, а известковые соли соответствуют бетону. Вот за счет такого сочетания и достигается громадная прочность, которая примерно впятеро превышает прочность железобетона. Такое строение кости из двух материалов можно доказать и не прибегая к микроскопу.

Если положить кость в раскаленную печь и прожечь ее, то органические волокна прогорят, и останется только известковая часть кости, только ее «бетон». Такая прожженная кость окажется очень хрупкой и легко раздробляющейся в порошок. Можно сделать обратное: положить кость в слабый раствор кислоты, в котором растворятся все известковые соли; после такой процедуры кость делается мягкой, как тряпка — ее можно будет намотать на палку.

Из таких составных элементов организм строит не сплошные колонны, а сложные решетчатые сооружения, напоминающие подъемные краны. Живая кость обладает одним замечательным свойством. Она развивается сильнее всего там и в тех направлениях, где на нее воздействуют наибольшие силы, и вырождается в тех местах и направлениях, где силы не действуют. Поэтому получается, что кость есть своего рода самоорганизующийся автоматический мост. В ней постепенно исчезают, недоразвиваются все части, кроме тех, которые нужны для достижения наибольшей прочности при наибольшей же легкости.

Посмотрите на поперечный распил большой берцовой кости, изображенный на рис. 8. Вы видите, что кость эта имеет внутри полость, окруженную

толстой стенкой. Значит, вся кость в целом имеет строение трубки. Она построена точно так же, как трубы, из которых состоит велосипедная рама, и так же, как и последняя, соединяет прочность с экономией материала. Концы кости, в которых взаимоотношения механических воздействий разнообразнее и сложнее, обладают и более сложным строением. Они одеты с поверхности тонким сплошным слоем костного вещества, а внутри это костное вещество образует систему взаимно пересекающихся перегородок, нечто вроде мелких ячеек. Если кто-нибудь из вас имел дело со строительной механикой, то он слышал о так называемых траекториях напряжений, которые определяют направления наибольших воздействующих сил. И оказывается, что костные перегородки концов кости располагаются как раз в направлении таких траекторий напряжений. Вычисления показали, что соответствие получается здесь очень близкое. На рис. 9 изображен продольный распил верхнего конца бедренной кости человека; рядом дано для сравнения расположение траекторий напряжений в верхнем конце подъемного крана, который подвергается усилиям, очень сходным с усилиями в бедре. Сходство обоих рисунков говорит само за себя. Интересно, что там, где несколько смежных костей в общей совокупности подвергаются одним и тем же усилиям, перегородки в них представляют собою как бы непосредственное продолжение друг друга. Так происходит, например, в костях, составляющих стопу. Стопа есть свод, который опирается на землю тремя точками: основаниями большого пальца и мизинца, и пяткой. На эти своды сверху давит тяжесть всего тела. Сообразно с этим перегородки костей стопы расположены как раз так, как располагались бы в соответствующем случае элементы железной сводчатой постройки.

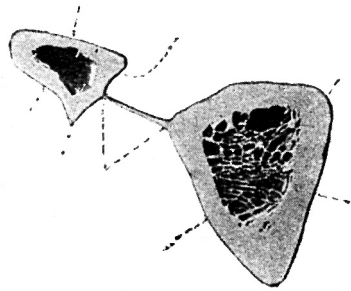


Рис. 8. Поперечный распил костей голени. Слева — малая, справа — большая берцовая кость (по Шпальтегольцу)

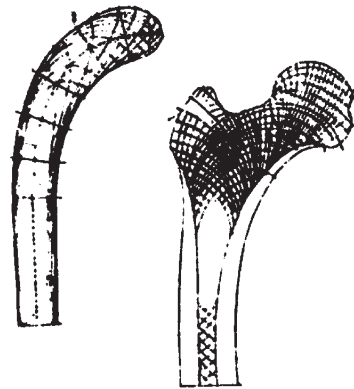


Рис. 9. Расположение костных перегородок в головке бедренной кости (справа) в сопоставлении с линиями напряжений в подъемном кране (слева)

Лекция 2

Товарищи! В прошлый раз мы с вами говорили о том, что служит вспомогательным аппаратом при движении: о рычагах — костях и шарнирах — суставах. Те и другие повинуются движению двигателей человеческой машины, они, так сказать, исполняют движение, но не вызывают его самостоятельно. Это пассивная часть. А деятельная часть человеческой машины — это мышцы или мускулы. Относительно того, как работают мышцы или мускулы, широкой публике известно очень мало. Но надо сказать, что и ученые не вполне еще разбираются в том, как работают мышцы. Поэтому сейчас придется несколько тщательнее расследовать, что такое мышцы, как они действуют и что от них можно ожидать. Это расследование не раз пригодится вам, чтобы понять, как происходят движения человеческой машины. Каждый из вас видел мышцы, если не человеческие, то мышцы животных. То, что известно в просторечии под названием мяса, и есть мышцы. Если взять кусок супового мяса, хорошо вываренного, то мы увидим, что вся масса мускулов распадается на маленькие волоконца. Эти волоконца представляют собой главную и составную часть мышц как человека, так и животных. Но это еще не самая мелкая составная часть мышц. Если рассмотреть мышцы под микроскопом, то оказывается, что эти волоконца состоят из более мелких волоконец, более тонких, чем волоски, около 0,001 части миллиметра в поперечнике. Все мышцы состоят из продольно лежащих рядом друг с другом маленьких волоконец. Эти волоконца соединены в маленькие пучки, тоже очень тонкие. Если перерезать мышцу поперек, то, как вы увидите уже простым глазом, они выглядят, как ячеистая постройка. Каждое тончайшее волоконце мышцы представляет собой первоначальный, элементарный двигатель.

Каждое волоконце обладает способностью производить движение. Эта первичная машина — мышечный двигатель — построена, однако, очень своеобразно и не похоже на то, как построены искусственные двигатели. Каждая мышца представляет собой несколько сот тысяч, может быть, миллионов отдельных двигателей, которые все соединены параллельно друг с другом и все выполняют одну общую работу. Эти мельчайшие простейшие двигатели мышечного вещества можно рассматривать только под микроскопом. Вы видите, что это тонкое волоконце

все исчерчено поперечными полосками и выглядит как трико. Довольно сложный опыт с мышцами, которого я описывать не буду, показал, что только один вид этих полосок обладает способностью производить движение, а другие промежуточные полоски служат связкой для сократительных элементов. Так что в этом волокне только половина двигателей, а остальная половина скрепляет двигатели между собой. Волоконца в каждом пучке пригнаны так аккуратно, что эти полоски совпадают между собой у рядом лежащих волокон. Под микроскопом это сплошной полосатый пучок, почему мышцы скелета и называются поперечнополосатыми. А если такой пучок рассмотреть не сбоку, как я нарисовал, а с конца или в перспективе, то те же полоски будут выглядеть наподобие дисков. Представьте себе, что вы поставили столбиком поочередно медные копейки и серебряные двугривенные: вот так на самом деле выглядит строение мышечного пучка.

Как же работает эта постройка? Прежде всего, для того, чтобы понять работу мышцы так, как она происходит у человека, давайте посмотрим ее в «холодном состоянии», вне работы, точно так же, как если бы вы захотели изучить работу мотора, то вы первоначально познакомились бы с ним в стоячем виде; словом, ознакомились бы с его устройством вне работы, а потом уже пустили бы его в ход и посмотрели бы, что получается. Рассмотрим, что такое мышцы сами по себе и как они работают. Рис. 10 изображает две кости, между которыми натянута мышца. Вот в сущности форма, которая повторяется во всех установках мышц человеческой машины. Но вырезать для опытов мышцу у человека невозможно. Для этого лучше всего взять животное, например, лягушку. Если вырезать мышцу у лягушки и попробовать ее растянуть, то вы увидите, что она упруга, она сопротивляется, т.е. развивает некоторую силу. Мышца растягивается как пружина. Если вы возьмете лягушечью мышцу и к ней подвесите гирьку, то она растянется, станет длиннее, а как только вы снимете гирьку, мышца примет снова прежнюю длину. Разница с обыкновенной пружинкой есть, и мы к ней еще подойдем. Чтобы представить себе мышцу-пружинку, возьмем для начала простую пружинку. Если подвесить на конец пружины груз, то он растянет пружину. Что это значит?

Вы знаете, что упругие тела, например пружина, обладают тем свойством, что они сами собой возвращаются к прежнему размеру как только вы перестанете их растягивать. Для того, чтобы как-нибудь изменить их форму, для того, чтобы растянуть пружину или упругое тело, нужно приложить какую-нибудь силу, в данном случае гирю, и она силой своего веса растягивает пружину. Известно, что если для какого-нибудь движения нужно приложить силу, то это значит, что это движение требует работы.



Рис. 10. Действие мышцы на рычаг кости. Эта мышца (бицепс или двуглавая мышца плеча) действует только на кости предплечья, так что сжатие кисти в кулак, изображенное на этом рисунке, есть воля художника

Вы знаете, вероятно, что если взять гирю и дать ей упасть на землю, то она, падая, производит работу, и эта работа измеряется произведением веса груза на ту высоту, на которую этот груз опустился. Работу измеряют килограммометрами. Вот поэтому мы с вами скажем, что если, например, к какой-нибудь пружине подвесить гирю в 1 килограмм, а гиря ее растянет на 1 метр, то это значит, что гиря произвела работу в 1 килограммометр. Для того, чтобы растянуть нашу пружину на данную величину, потребовалась работа в 1 килограммометр. Куда же делась эта работа, куда она пошла? В природе ничего не пропадает.

Между тем гиря, опустившись, остановилась спокойно, перестала двигаться. Значит, работа куда-то исчезла. Где она находится?

Слушатель. Эта работа израсходовалась на растяжение пружины.

Лектор. Конечно, она израсходовалась на растяжение пружины. И если вы ее отпустите, она с силой сократится обратно. Все количество работы, значит, перешло в скрытую форму напряжения пружины. Чем пружина больше растянется, тем больший запас работы в ней скрыт. Возьмем другой вид пружины, который вам больше знаком. Скажем, пружину грамофонную. Если вы растянете эту пружину, вы создадите в ней напряжение, и эту работу почти что полностью вам пружина возвратит, когда начнет раскручиваться. Значит, основное свойство пружины таково: ее можно заряжать работой, создавая в ней напряжение, и можно получать ту же работу обратно в любой момент, когда пружина опять раскрутится и ликвидирует свое напряжение. Она возвращает ту работу, которую мы ей сообщили. Теперь очевидно, что вы можете растянуть пружину, скажем, рукой или грузом и затем предоставить ей сокращаться обратно. Посмотрим, что же получается с мышцей той же лягушки.

Вот вы растянули мышцу, создали в ней какую-то силу напряжения и зарядили ее работой. Эта сила напряжения в ней может быть ликвидирована, если вы ей предоставите укоротиться обратно. Мышца сократится и возвратит часть работы. Теперь, почему часть? Вот почему. Какую бы вы идеальную стальную пружину ни взяли, все равно она всей работы не

может возратить, потому что часть работы расходуется на внутреннее трение частиц. Как бы ни хороша была пружина, трение в ней всегда есть, и на это трение расходуется работа. Поэтому часть, может быть 95%, но не все 100% вернутся обратно. С мышцею дело обстоит хуже. Она способна вернуть и 50% всей работы; она расходует громадное количество этой работы на трение. Если вы ее растянете и потом предоставите ей сократиться самой, то она вернет не всю работу, а только часть ее. Вам может придти в голову, что если бы мышца была 50 сантиметров длины, а мы растянули ее еще на 8, то после этого она уже не смогла бы сократиться до прежних 50 сантиметров, а только до 51-52. Опять возьмем, в последний раз, ту же самую пружину, с которой дело происходит проще. Что будет, если вы к ней подвесите гирию? Эта гирия начнет ее растягивать? Совершенно правильно. Что значит растяжение? Попробуем разобрать это, и вы всю жизнь не забудете, что значит: гирия растягивает пружину. Гирия тянет пружину книзу с силой, равной ее весу. Давайте писать в цифрах: пусть гирия весит один килограмм. Как подвесить гирию, чтоб она была в равновесии? Когда мы только подвесили гирию к пружине, последняя еще сопротивляться не может — она ведь еще не растянута. Значит, гирия начинает падать вниз, куда тянет ее собственный вес, и со стороны пружины она никакого противодействия не встречает. Как только она начинает тянуть пружину книзу, то в этот же момент, благодаря начинающемуся растяжению, создается некоторое сопротивление, которое начинает тянуть гирию вверх. Гирия тянет книзу с силой в 1000 грамм, но пружина начала действовать, например, с силой в 100 грамм. В результате получится равнодействующая этих двух сил: 1000 вниз и 100 вверх, т.е. 900 грамм, направленных книзу. Чтобы узнать, с какой силой гирия тянет пружину книзу, надо взять разность обеих сил. Вы знаете, что чем сильнее растянута пружина, тем больше у нее сила сопротивления, так что можно настолько сильно растянуть пружину, что получится какое угодно сопротивление. (Понятно, в пределах упругости пружины!) Вот мы общими усилиями растянем пружину, т.е. не мы сами, а опускающийся груз растянет ее до такой степени, что сопротивление будет равно тем же самым 1000 грамм, что и вес груза. Это значит, что обе силы уравновесятся. Но значит ли это, что груз остановится на той же высоте? Ведь груз, опускаясь вниз под действием силы, опускается все скорее, потому что сила все время направлена книзу. Возрастающее сопротивление пружины уменьшает равнодействующую силу, но до мгновения равновесия она все время направлена вниз, и силы, направленной вверх, гирия не встречает.

Что же из этого следует? Из этого следует, ни больше ни меньше, как то, что пружина и гирия к этому моменту будут обладать очень порядочной

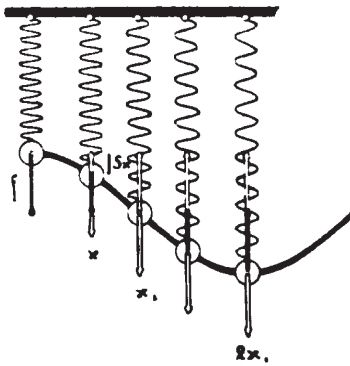


Рис. 11. Растяжение пружины грузом. Стрелки, направленные кверху, — напряжения пружины; стрелки, направленные вниз, — сила тяжести груза; черные стрелки, — равнодействующая обеих сил. x , — положение равновесия (равнодействующая равна нулю)

скоростью движения и на точке равновесия не остановятся. При этом гирия, ничем не затормаживаемая, перейдет через точку равновесия, — значит, она растянет пружину еще сильнее. Опять груз гири все время будет равен 1000 грамм вниз, но сопротивление будет теперь уже больше, чем 1000 грамм. Теперь равнодействующая сила лезет кверху и на этот раз будет тормозить груз. Точка равновесия есть точка, через которую груз пройдет с самой большой скоростью; книзу от нее он начнет замедлять свою скорость, потому что тормозит сила пружины. Груз пройдет еще такое же расстояние книзу от точки равновесия, какое он прошел до нее сверху. Вот что получится, если изобразить графически растяжение

пружины грузом (рис. 11). Он пролетит через положение равновесия, и груз достигнет в два раза более низкого места. Но так как в том пункте, где груз, наконец, остановится, равновесия нет, то пружина начнет подтягивать груз обратно. Он вернется назад, но опять пролетит слишком быстро через положение равновесия. Словом, если пружина очень хороша (вы это, вероятно, наблюдали много десятков раз в вашей жизни), то пружина начнет просто качаться то вверх, то вниз. И, наконец, очень медленно колебания «затухнут» на уровне равновесия. Пружина остановится только тогда, когда вся работа первоначального падения груза израсходуется на трение. До тех пор, пока она не израсходована, эта работа будет выражаться в движении груза взад и вперед. А теперь перейдем к нашим мышцам.

Разница будет в том, что в мышце силы трения очень велики. Теперь давайте на чертежике рис. 12 изобразим, что будет дальше с мышцей, проделает ли она такое же колебание как пружина, или нет. Я возьму несколько колебаний, чтобы было ясно. Вот что будет проделывать пружина, когда мы на нее подвесим груз и пустим. Трение внутри мышцы очень велико, и мышца будет растягиваться от нашего груза медленно, ее трудно «раскачать». Но, кроме того, оказывается, что ее качания затухают гораздо быстрее: одно или два колебания, и мышца остановилась, она уже поглотила всю работу того груза, который ее раскачал. После очень короткого промежутка мышца

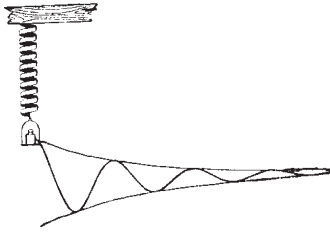


Рис. 12. Как выглядят затухающие колебания пружины, выведенной из равновесия грузом. Совершенно сходно выглядит и затухающее колебание мышцы (рис. 13), только затухание там быстрее

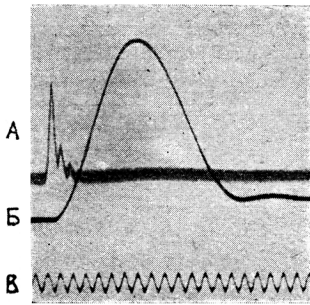


Рис. 13. А — кривая тока действия мышцы, Б — кривая вздрагивания мышцы, В — колебания камертона, отмечающего сотые доли секунды. Запись здесь фотографическая (по Юдину)

нашла точку равновесия, остановилась на своей новой длине и уравнивала груз.

Мы должны условиться вот о чем. Когда я говорю: мышца уравнивала такой-то груз, это значит, что мышца напряжена с силой, равной силе тяжести груза, подвешенного к ней.

Сказать, что мышца уравнивала груз в 1 килограмм, это все равно что сказать: в мышце имеется напряжение в 1 килограмм. Но мышца обладает одним замечательным свойством, которым ни одна из наших искусственных пружин не обладает. Это свойство заключается в особом способе заряжения мышцы работой. Для пружины или для мертвой мышцы у нас есть единственный способ: взять мышцу (вырезанную у лягушки) и растянуть ее. Но оказывается, что у мышцы, которая сидит на своем месте в живом организме, есть другой способ заряжаться работой; такой способ, при котором ее растягивать не нужно. Этот способ заряжает мышцу за счет внутренних процессов, без всяких видимых движений. Способ этот отличает живую мышцу от тех двигателей, которые нам известны. Его называют возбуждением мышцы. Если через мышцу пропустить электрический ток, даже один единственный электрический разряд,

то вдруг мышца подтянет груз кверху. Вы все знаете, что мышца сокращается, и ничего удивительного в этом нет, но механически это, оказывается, чрезвычайно удивительная вещь. Пусть мышца уравнивает 1 килограмм. Теперь, если мышца подтянула груз кверху, значит, равновесие нарушилось, т.е. сила, направленная кверху, перевесила. Оказывается, мышца получила напряжение не в 1 килограмм, а больше, — скажем в $1\frac{1}{2}$. Откуда она взяла эти $\frac{1}{2}$ килограмма? Непонятно. Откуда мышца взяла работу на добавочное напряжение? Итак, возбуждение мышцы, которое получается, например,

если пропустить через мышцу электрический разряд, заряжает мышцу работой не механическим способом, а как-то иначе.

Надо обратить ваше внимание на то, что мышца, которая сокращается от возбуждения, например, от электрического разряда, ведет себя точно так же, как это было с пружиной, обладающей большим трением. Мышца всегда и все время ведет себя как пружина. Вся разница заключается единственно только в том, что эту живую мышцу можно заряжать работой с помощью электрического процесса.

Живые мышцы человеческого организма заряжаются работой также при посредстве электрического толчка особого рода, но этот толчок передается через нерв. Как это происходит, поговорим позднее. При этом в мышце освобождается порция работы, но не от механического растяжения, а от сгорания некоторых частей мышечного вещества. Мышцу можно сравнить с двигателем внутреннего сгорания, скажем с мотором Дизеля; и в ней происходит сгорание топлива с освобождением работы.

Разберем с этой точки зрения мышечное сокращение. Пусть у нас опять будет взята мышца, вынутая из лягушечьего организма. Давайте мы вырежем ее вместе с нервом и с кусочком спинного мозга; она не сразу погибнет и можно будет произвести над ней опыт. Если к этой мышце подвесить маленький грузик и ее уравновесить, тогда тяжесть груза и напряжение мышцы будут равны между собой. Если вы пропустите электрический ток, то мышца сначала напряжется сильнее, оставаясь еще на мгновение той же длины, как и до возбуждения. В первое мгновение — одну или две сотых доли секунды — укорочение будет незаметно. Затем в следующее мгновение мышца начнет делаться короче, потому что ее напряжение пересиливает вес груза. Заметьте, что напряжение мышцы растет вместе с весом груза. Чем больше груз, тем больше напряжение. Значит, при сокращении мышцы есть два последовательных момента, два последовательных события: сначала происходит напряжение мышцы, потом начинается сокращение, которое связано с расслаблением мышцы. Мы называем эти события так: фаза напряжения (без движения), а потом фаза сокращения (с расслаблением мышцы).

Вот этой маленькой подробности вы не знаете, или она не приходила вам в голову. Мы так привыкли говорить о том, что мышцы напрягаются при движении, и никому не приходит в голову, что мышцы расслабляются, а не напрягаются во время работы. Когда мышце приходится двигаться, она расслабляется. Пока мышца напряжена, она не производит работы. Почему это происходит? Это будет ясно, если мы поняли подобие между устройством мышцы и пружины. А теперь перейдем к описанию деятель-

ности мышцы, ее сокращениям. Надо точно знать работу двигателя, чтобы разобраться в более сложных вещах.

Как происходит сокращение мышцы? Прежде всего укажу вам следующее. Мы сказали, что мышца возбуждается и получает заряд работы, когда она подвергается действию электрического тока или (электрическому же) воздействию нервов, которые подходят от центра — мозга — к этой мышце. В чем состоит возбуждение мышцы, наука точно не знает. Важно, что электрические явления в мышце определенно доказаны. Доказано еще кое-что. Оказывается, если каким-нибудь способом произвести мышечное возбуждение, то ее электрический заряд в это время меняется. Если вы соедините мышцу с гальванометром, то увидите, что как только точка мышцы возбуждается, то она получает отрицательный заряд. Важно знать, что здесь всегда есть какой-то внутренний ток, небольшой, всего около одной пятой вольта, не больше. Если вы вызовете возбуждение в какой-нибудь точке мышцы, то оно сейчас же разбегается в обе стороны по всей мышце со скоростью, примерно, в десять метров в секунду, т.е. со скоростью пассажирского поезда. Но зато обнаруживается, что в каждой данной точке мышцы возбуждение держится очень недолго, одно мгновение, а затем мышца опять возвращается в свое прежнее спокойное состояние. Долгое время удержать мышцу в состоянии возбуждения нам никаким способом не удастся. Мышца может возбуждаться на одно мгновение, как будто бы вздрогнет и после этого сейчас же успокаивается.

Если вы будете измерять с помощью гальванометра, что происходит в мышце во время возбуждения, и соедините с гальванометром какие-нибудь две точки мышцы, тогда у вас получится вот что: пусть возбуждение началось в точке А. В этот момент точка А будет электро-отрицательна, а другая точка В — положительна. Спустя несколько сотых долей секунды возбуждение успеет перебежать из точки А в другую точку В. Тогда получится, конечно, обратная вещь: точка А станет снова нейтральной, точка В, теперь возбужденная, окажется отрицательной. Ток получает обратное направление. Следовательно, гальванометр сначала качнется в одну сторону, потом — в другую. Если суметь записать, что происходит в данной точке мышцы, то, очевидно, запись покажет сперва спокойное состояние мышцы, затем — колебание тока в одну сторону, потом — в другую, и все успокаивается. Вот это колебание тока в возбужденной мышце называется током действия. Оно всегда происходит, когда мышца возбуждается, и всегда чрезвычайно коротко.

Теперь вы мне задаете вопрос: как же так, мы можем показать на наших мышцах, что они работают в течение нескольких минут, а вы говорите, что они возбуждаются всего на одно мгновение? Правильно. Но происходит

это, оказывается, совсем не так просто. Понятно, что если мышца получает такой короткий толчок возбуждения, какой, по моим словам, она только и может получить, то она не сможет сократиться длительно. Она может только вздрогнуть. Если вы пропустите через мышцу или ее нерв электрический ток, то мышца сделает вот что. Допустим, что мы подвесили мышце гирику, а к ней присоединили пишущее перышко. Ясно, что теперь, если эта гирику опустится или поднимется, то перышко подвинется вместе с ней. Теперь очевидно, что если около перышка будет вертеться барабан, обтянутый закопченной бумагой, а в это время мышца будет двигаться, то перышко запишет кривую, изображающую сокращение мышцы. На рисунке 13 вы видите кривую вздрагивания мышцы. Пока она возбуждена, она может тянуть груз вверх. Но как только возбуждение пропало, начавшая сокращаться мышца оказывается в положении, чрезмерно укороченном, и потому груз оттягивает ее опять вниз.

Как же заставить мышцу сокращаться длительно? Оказывается, что для этого нужно возбуждать мышцу не один раз, а много раз. Длительно, непрерывно мышца сокращаться не может; она может сокращаться только толчками, и если толчки очень часты (раз 50 в секунду), они сливаются друг с другом.

Теперь перейдем к более тщательному разбору того, что происходит с живой мышцей. Мы установили, что нет способа получать у мышцы более длительного возбуждения, чем на несколько сотых долей секунды; и если мы ограничимся одним таким однократным возбуждением, то мышца вздрогнет, даст мгновенное вздрагивание. Видите, какая кривая, и затем ничего. Возбуждение мышцы зависит от того, что при этом быстро разлагается часть вещества самой мышцы. Это вещество, разлагаясь, освобождает часть своей энергии, которая превращается в механическую энергию напряжения мышцы. Первый источник движущей силы мышцы – это химический процесс, своего рода сгорание внутри мышцы. Итак, наступает фаза напряжения. Если мы сумеем точно записать сокращение мышцы на тот же самый вертящийся барабан, на котором записываем одновременно и ток, которым мы возбуждаем мышцу, и ток действия самой мышцы, то мы точно увидим, как друг за другом следуют последовательные фазы мышечного сокращения. Мы

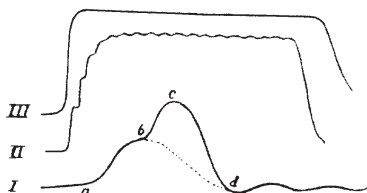


Рис. 14. I – сложение двух последовательных одиночных сокращений. II – сложение многих сокращений, следующих быстро одно за другим. III – тетаническое сокращение (по Ландау)

можем сделать так, чтобы ток, который мы пропустили в мышцу, отметил момент начала своего действия на барабане. Оказывается, что в тот момент, когда ток проходит через мышцу, и в ней происходит возбуждение, мышца еще неподвижна. Чтобы сдвинуть с места какой-нибудь груз, нужна сила, которая должна продолжаться некоторое время. И вот одну-две сотых доли секунды мышца стоит и затем только начинает двигаться. Однако, едва она пройдет очень малый путь, возбуждение мышцы уже кончается, но мышца не опадает, а продолжает двигаться, сперва укорачиваясь, потом снова удлиняясь, что продолжается 20-30 сотых долей секунды. За счет чего же она идет вверх? Ведь возбуждение уже прекратилось? Только за счет той инерции, того разгона груза, который она успела в первый момент получить. Она подпрыгивает еще немного кверху и возвращается обратно. Если мы на том же барабане (уже не закопченном, а клеенном фотографической бумагой) запишем и ток действия мышцы, то получится еще нагляднее. Вы помните, что электрический ток, который пробегает через мышцу взад и вперед, точно соответствует по времени возбуждению мышцы. Как только ток прекратился, кончилось и возбуждение мышцы. Так вот, если мы запишем колебание электрического тока, которое началось в тот момент, когда мы возбудили мышцу, то эти колебания будут выглядеть, приблизительно, таким образом (рис. 13). Вы видите это колебание тока взад и вперед. Из рисунка вытекает, что как раз возбуждение мышцы всего сильнее тогда, когда она еще не вздрогнула, не успела сдвинуться с места. Почему такое расхождение во времени, почему вздрагивание после возбуждения? Я думаю, это вам достаточно понятно из того, что мы говорили в начале лекции.

Теперь представьте себе, что в то мгновение, когда мышца уже отчасти подскочила кверху, мы возбуждаем ее второй раз. Произойдет вот что. Так как первое возбуждение кончилось очень скоро, мышца успевает подскочить сравнительно невысоко, и поэтому в этом новом положении, где ее застигнет второй электрический разряд, она будет сокращена немного. Значит, в этом новом положении свойства ее будут близко сходны со свойствами до начала первого возбуждения. Получится то, что мышца подскочит еще выше, причем на почти такую же высоту, начиная от того места, где ее застигло второе возбуждение. Кривая получит вид, изображенный на рисунке 14. Теперь, если мы сообщим мышце третье возбуждение, то она подскочит еще выше. Если мы ей сообщим несколько таких толчков один вслед за другим, то окажется, что ее сокращение делается более высоким, гораздо выше того, какое получалось за счет первого возбуждения. Если мы будем непрерывно раз за разом возбуждать мышцу, то кривая получит вид зубчатой линии:

мышца поднимет груз на некоторую высоту, на которой она будет некоторое время дрожать, и только после прекращения наших последовательных возбуждений возвратится назад. Если мы начнем возбуждать ее раз 50 в секунду, то она не успеет опуститься после первого толчка, и кривая ее сокращения будет выглядеть уже гладкой; она станет давать такие незначительные колебания, что их нельзя будет рассмотреть на нашей записи. Следовательно, если вы мышцу раздражаете очень часто, то она длительно остается сокращенной, чуть-чуть подрагивая на достигнутой высоте.

Мы можем получить длительное сокращение мышцы только тогда, когда возбуждения следуют часто одно за другим. Если человеческая мышца испытывает 50 возбуждений в секунду, т.е. 3000 в минуту, то она дает такое плавное сокращение. Можно сделать на себе такой простой опыт. Достаточно крепко сжать свои собственные челюсти, чтобы услышать низкий скрипящий звук около ушей. Этот звук есть не что иное как звук мышцы, которая служит для стискивания челюстей и помещается в области виска, близко к ушам. Но как раз, когда будете стискивать челюсти, вы создадите длительное напряжение мышцы. Эта мышца то сокращается, то расслабляется и дает очень мелкое дрожание, на ощупь незаметное, а на слух похожее на скрип. Если напрягать сильно какую-нибудь мышцу руки, то можно заметить дрожание, которое происходит от длительного мышечного сокращения. Если приложить ухо к мышце, которая находится в состоянии сокращения, то вы услышите низкий басовый звук. Это есть «мышечный тон».

Физиологи показали очень интересную вещь. Человеческая мышца никогда не проделывает в естественных условиях одиночных сокращений. Иными словами, нервная система, которая посылает в мышцы возбуждение, способна посылать только десятки возбуждений в секунду. Одно возбуждение, один толчок наша нервная система не умеет посылать; она умеет посылать только такие ритмические возбуждения. Значит, наши мышцы по велению нервной системы могут сокращаться только по описанному сейчас сложному типу, который получается от слияния очень часто следующих возбуждений. Мы называем это тетаническим сокращением мышц, или тетанусом. Только такие тетанические сокращения может получать мышца через нервную систему.

Искусственно вы можете заставить человеческую мышцу проделать и одиночное вздрагивание. Если через любую из наших мышц пропустить из индукционной катушки одиночный электрический удар, то мышца проделает самое настоящее единственное вздрагивание. Но сами вы произвольно можете получить только тетанус.

Теперь достаточно говорить о деятельности искусственно выделенной мышцы. Надо перейти к тому, как мышцы работают в условиях человеческого организма, разобрать, как они укреплены, как построены и как действуют. О строении мышечных волоконца мы уже говорили. Теперь надо сказать, что мелкие мышечные волоконецца, подобранные параллельно друг с другом, погружены в довольно вязкую жидкость, которая сама по себе не принимает активного участия в движении мышцы, а служит как бы футляром для мышечных волокон. Общее строение мышцы вы можете себе представить так, что это есть пакет с тонкими волокнами, которые окружены внутримышечной жидкостью, конечно, тонким слоем. Каждый пучок волокон одет, кроме того, в тонкий чехол, который отделяет его от соседнего пучка. Множество таких пучков расположено рядом друг с другом с небольшими промежутками между ними. Вся мышца в целом бывает одета футляром из такой же упругой ткани, только более прочным. Он также предохраняет ее и одевает со всех сторон. На концах мышцы, если взять ее всю целиком, поперечно исчерченные мышечные волоконецца исчезают и постепенно переходят в сухожильные волоконецца. Сухожильные волоконецца отличаются чрезвычайно большой прочностью. Сами они пассивны и участия в вызывании движения не принимают, но служат для прикрепления мышц к костям или тем органам, которыми она должна двигать. Сухожильные волокна тоньше, чем мышечные; поэтому и сухожилие в целом обычно тоньше, чем его мышца. Слово мышца происходит от слова мышь; это именно от того, что она своим брюшком и тонким хвостиком напоминает мышонка. Как укрепляется мышца к тем органам, которыми ей приходится двигать, мы разберем уже в одной из следующих лекций; сейчас ограничимся только просмотром рисунков и вопросами по существу.

Лекция 3

Товарищи! Сегодня нам предстоит заняться разбором отдельных соединений человеческого тела и их подвижности. Мы будем все время ссылаться на то, что в первой лекции называли сокращенной схемой, но во многих случаях нам придется отвлекаться от такой упрощенной системы и рассматривать подвижность сочленений во всей их сложности. В особенности это понадобится нам, когда мы будем разбирать подвижность руки. Как вы увидите дальше, эта подвижность особенно разнообразна и сложна; а так как рука имеет громадную практическую роль во всякой работе, то ясно, что нам придется с особенной заботливостью изучить ее устройство.

Вы помните, что верхняя конечность присоединена к туловищу посредством двух костей — лопатки и ключицы — и большого количества мышц. Вся эта совокупность передаточных костей и мышц называется плечевым поясом. В следующих лекциях, когда мы будем говорить о мышечном оборудовании, мы разберем, каковы были причины, обусловившие именно такое устройство плечевого пояса; теперь пока примем его так, как он есть, и познакомимся с условиями его подвижности.

Плечевой пояс почти не имеет никакого костного закрепления. Одна из его костей, лопатка, вообще никак с туловищем не скреплена. Она соединяется только с ключицей маленьким подвижным и непрочным сочленением. Ключица, в свою очередь, соединена таким же непрочным сочленением с грудинной костью, а последняя укреплена к позвоночнику опять-таки только косвенно, через посредство ребер. Таким образом, плечо, которое стоит в сочленовой связи только с лопаткой, оказывается в необычайно дальнем родстве с опорным стержнем туловища. Такая отдаленная связь и обилие промежуточных сочленений обеспечивают плечу совершенно исключительную подвижность. Что касается прочности подвеса, то она достигается исключительно за счет мышц.

Прежде чем обращаться к подвижности плеча, расследуем движения той кости, на которой оно висит, т.е. лопатки. Лопатка плотно прижата мышцами к задней стенке грудной клетки и может двигаться, только прижимаясь к ней вплотную. Это значит, что ее подвижность относительно грудной клетки такова же, какова подвижность плоской пластинки на столе, т.е. имеет три степени. Лопатка может перемещаться вверх и вниз,

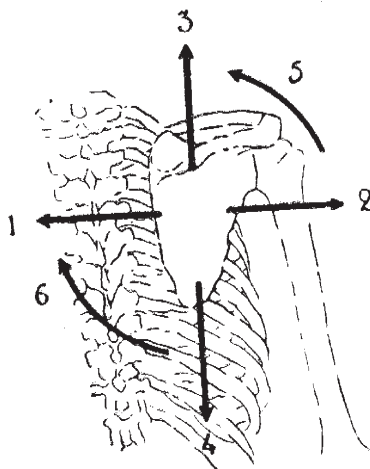


Рис. 15. Правая лопатка сзади и виды ее подвижности. 1 – приведение, 2 – отведение, 3 – поднятие, 4 – опускание, 5 – вращение внутрь, 6 – вращение наружу

к середине и в сторону и, кроме того, еще поворачиваться вокруг самой себя.

Будемте называть первый вид движений лопатки подниманием и опусканием, второй – приведением и отведением и третий – вращением лопатки. Все эти три вида движений лопатки вы можете удобно проследить на живом человеке. Правда, редко кто умеет по произволу производить все эти движения лопаткой, в особенности ее вращение. Так как один из углов лопатки (рис. 15) соединен с ключицей, а другой конец ключицы укреплен к грудной клетке почти неподвижно, то при всяком движении лопатки ключица будет поворачиваться в разных направлениях своим наружным концом. Вы можете наблюдать движения ключицы, если будете совершать движения обла-

стью плечевого сочленения, т.е. тем, что в просторечии называется плечом.

Подвижность лопатки довольно велика. Ее нижний конец может смещаться на 16 см и больше в сторону и на 10 см вверх и вниз.

Теперь познакомимся с самым подвижным из всех сочленений человеческого тела, соединяющим лопатку с плечом. Это сочленение обычно коротко называют плечевым. Как мы уже говорили раньше, это сочленение относится к трехстепенным. На рис. 16 вы видите, что оно относится к типу шаровых сочленений. Плечевая кость несет на верхнем конце головку в форме полушария, а лопатка имеет в своем верхне-наружном углу подходящей формы впадину. Вы видите из рис. 16, что впадина гораздо меньше плечевой головки. Это значит, что плечо может совершать качания с очень большим размахом, и все еще лопаточной впадине хватит места для соприкосновения с обширной шаровой головкой. Правда, зато уже о каких-нибудь закраинах или жестких скрепах не может быть и речи. Больше того, очевидно, сумка сочленения должна быть очень податливой и широкой, чтобы дать дорогу большим размахам плечевой кости. Значит, закрепление сочленения поневоле слабое, и оно вывихивается легче всех других.

Разберемся как-нибудь в разнообразии движений плеча в этом сочленении. Заметим прежде всего, что обе лопатки поставлены несколько

наискось друг к другу, так что плоскость каждой из них обращена вперед и внутрь. Сочленовная площадка лопатки стоит под прямым углом к этой плоскости, т.е. обращена вперед и наружу. Если мы будем поворачивать плечо в этом последнем направлении, т.е. поднимать его вперед и наружу, то получившееся движение будет разгибание плеча. Противоположное этому движению, т.е. опускание плеча в той же плоскости, будет называться сгибанием плеча.

Я попрошу кого-либо из товарищей выйти сюда на кафедру и показать, как он производит разгибание и сгибание плеча в одном только плечевом сочленении, т.е. при неподвижной лопатке. Я попрошу также двух других товарищей наблюдать за его спиной и контролировать, неподвижна ли лопатка или нет.

Слушатели. Он двигает лопатками.

Лектор. Вы делаете не то, о чем я просил. Прodelайте разгибание плеча при неподвижной лопатке. Обратите внимание, что наш испытуемый не умеет этого сделать. Однако это не значит, что у него двигательный недостаток; этого не умеет, может быть, никто из вас. Между тем, такое

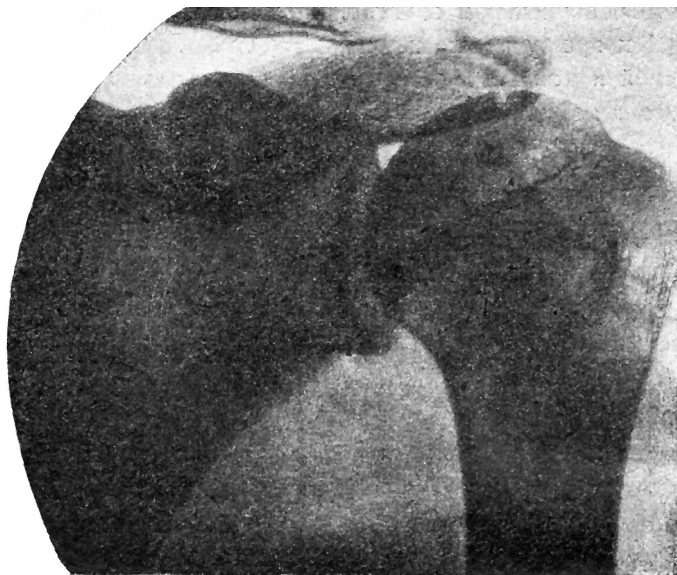


Рис. 16. Рентгеновский снимок плечевого сочленения. Справа просвечивает плечевая кость с шаровой головкой, слева — лопатка с ее впадиной. Наверху виден еще ключичный отросток лопатки (по Р. Фикку)

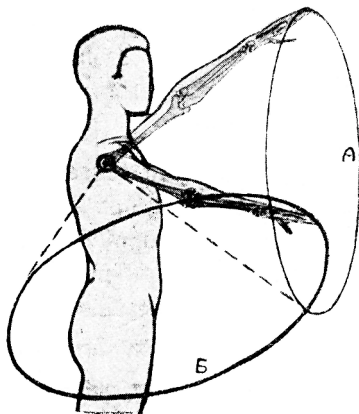


Рис. 17. Как влияют на границы подвижности плеча Б – повороты лопатки (по Моллиеру)

движение вполне возможно. На нашем примере вы видите, как грубо и несовершенно владеет человек движениями важнейших частей своего тела. Попробуйте теперь удерживать лопатку нашего испытуемого неподвижно за ее нижний угол. Определите теперь, до какой степени он может разгибать плечо, не двигая лопаткой. Вот он довел руку до горизонтального положения. Смотрите, когда он разгибает ее еще выше, лопатка уже начинает поворачиваться, и ее уже нельзя удержать. Здесь виновато не его неумение обращаться с мышцами: он просто достиг границы подвижности своего плечевого сочленения.

Если вы попытаетесь произвести движение плечом во всевозможных других направлениях, то окажется, что пределы подвижности плеча в каждом таком направлении составляют всего $100-10^\circ$; дальше уже начинает смещаться лопатка. Если бы вы закрепили лопатку совершенно неподвижно, а затем заставили бы плечо принять одно за другим все крайние пограничные положения, то конец плеча описал бы фигуру, похожую на круг (рис. 17). При неподвижной лопатке плечо может перемещать свой нижний конец в любую точку внутри этого круга, но выходить за его пределы оно уже не в состоянии. Этот круг какбудто бы соединен неизменным образом с лопаткой, потому что границы подвижности плеча мы все время определяем относительно нее. Значит, для того, чтобы придать плечу какое-либо положение вне этого заколдованного круга, надо передвинуть в пространстве самый круг. А это можно сделать, только повернув соответствующим образом лопатку (рис. 17). Теперь мы понимаем, каким образом движение лопатки расширяет границы подвижности плеча. Какие движения лопатки расширяют границы разгибания и сгибания плеча? Не будем угадывать, а проверим лучше на живом примере. Заставьте испытуемого разгибать плечо и выясните, что происходит с лопаткой.

Слушатели. Лопатка поворачивается.

Лектор. При разгибании плеча она совершает поворот внутрь, при сгибании – наружу. Это и понятно: ведь разгибание и сгибание плеча совершается вокруг горизонтальной оси, направленной вперед и внутрь; значит, вспомогательными движениями лопатки будут те, которые совершаются

вокруг оси, направленной точно так же. Вы видите, что с помощью лопатки плечо можно разогнуть градусов на 60 выше горизонтали.

Перейдем к другому виду движений плеча. При разгибании его конец двигался по вертикальным кругам. Теперь разберем движение его по горизонтальным кругам, т.е. повороты плеча вокруг вертикальной оси. Это движение мы называем приведение и отведение плеча, на какой бы высоте мы его ни производили. Определите теперь, какие движения лопатки помогают этому виду смещения плеча. Вы замечаете, что приведение плеча сопровождается отведением лопатки, а отведение плеча — приведением лопатки. И здесь участие лопатки расширяет подвижность плеча градусов на 30.

Мы разобрали и наименовали движения плеча вокруг двух взаимно перпендикулярных осей. Очевидно, существует еще третья ось, перпендикулярная к обеим первым. Движения вокруг этой оси будут направлены вперед-внутри и назад-наружу: как раз такое движение плечами делают зимою извозчики, когда им холодно. Этот третий вид назовем антеверсией (вперед-внутри) и ретроверсией (назад-наружу). Угадываете ли вы, что при этом должна делать лопатка?

Слушатели. Поворачиваться вокруг такой же оси.

Лектор. Это все так, но как же это выйдет? Пригласим-ка кого-нибудь из художавых, не сильных товарищей. Я ему сделаю ретроверсию плеча насильно. Что происходит с лопаткой?

Слушатели. Нижний угол ее отгибается.

Лектор. Да, и посмотрите — как далеко. Я могу свободно подсунуть под его лопатку три пальца. У мускулистых людей такому отгибанию лопатки помешают мышцы, и потому у них размах ретроверсии несколько меньше.

Итак, мы научились обозначать очень многие из движений плеча. Испытаем себя на нескольких примерах. Когда человек плывет «саженками», какое движение плечом он делает?

Слушатели. Приведение и отведение.

Лектор. Не совсем так. При замахе это движение близко к приведению, а при гребном движении это есть почти чистая ретроверсия. Второй хороший образец ретроверсии — движения

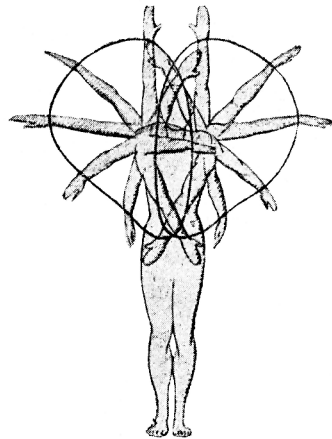


Рис. 18. Общие границы подвижности плеч (по Моллиеру)

правого плеча при размашистом ударе кувалдой. А каковы движения плеч при ходьбе?

Слушатели. Сгибание?

Лектор. Нет, ведь плечи при ходьбе движутся прямо назад и вперед: значит, это движение будет промежуточным между сгибанием и ретроверсией.

Так вот, мы изучили движения плеча относительно трех взаимно-перпендикулярных осей. Из этих трех видов движений можно было бы составить, как промежуточные формы, все мыслимые для плеча движения в его трехосном сочленении. Рассказывать, как это сделать, было бы слишком долго; мы выделим лучше некоторые из промежуточных форм в особую группу и дадим ей еще особое название. Я говорю о поворотах плеча вокруг его продольной оси, которые мы будем называть ротацией плеча внутрь и наружу.

Общие границы подвижности, которые плечо получает благодаря подвижности лопатки, очень велики. Каждый из вас может проверить их на самом себе; на рис. же 18 эти границы изображены чрезвычайно наглядным способом.

Перейдем теперь к нижележащим сочленениям руки. В первой лекции мы упоминали коротко о блоковидном сочленении между плечом и локтевой костью. Об этом одностепенном сочленении остается прибавить очень мало. Границы его подвижности составляют около 140° , и так как сильные мышцы и связки мешают размашистым движениям, то подвижность локтя у слабосильных людей, а также у детей и женщин, больше, чем у сильных мужчин. У женщин и детей часто встречаются разгибания локтя дальше, чем до одной прямой линии с плечом (переразгибание локтя).

Гораздо любопытнее устройство соединения плеча с другой костью предплечья — лучевой костью. На рис. 4 видно, что плечо несет на себе внизу, рядом с блоком, еще небольшой шарик. Верхний конец лучевой кости оканчивается как раз подходящей шаровой выемкой. Казалось бы, что при таком шаровом строении сочленения приходится ждать между лучевой костью и плечом трехстепенной подвижности. Действительность обманывает наши ожидания.

Лучевая кость кончается внизу около основания большого пальца руки; в этом месте прощупывается ее выступающий конец. Теперь следите за движениями лучевой кости при неподвижно закрепленном плече и, ориентируясь на этот нижний выступ, определите, какие виды движений может выполнить лучевая кость и сколько у нее степеней подвижности.

Прежде всего лучевая кость вместе с локтевой может участвовать в сгибании и разгибании локтя. Это будет первый вид ее движений. Во-вторых, она подвижна еще и относительно к локтевой кости, вдоль которой она



Рис. 19. Модель, изображающая способ укрепления лучевой кости (Л) к локтевой (л) и плечу (П) (по Браусу)

лежит. Поворачивайте кисть ладонью вверх и снова вниз; вы увидите, что лучевая кость обползает при этом движении свою соседку — локтевую кость. Если точно проследить, то окажется, что ось этого движения проходит по предплечью почти продольно: она направлена от шарика на нижнем конце плеча к нижнему концу локтевой кости. Эта ось при выпрямленном локте лежит как раз на продолжении оси ротации плеча.

Описанный второй вид движений луча называется пронацией и супинацией. Мы делаем движение супинации, когда ввинчиваем в стену винт; противоположное движение вывинчивания винта есть пронация.

Вот уже два вида движений. Есть ли еще третий вид? Таким новым видом должно бы быть отгибание луча в сторону с отхождением его нижнего конца от локтевой кости. Но он привязан в запястьи этим нижним концом; поэтому третьего предоставленного ему вида движений луч не использует: фактически его подвижность двухстепенна. Движение пронации

и супинации при выпрямленной руке всегда сопровождается также ротацией плеча, так как ось обоих этих движений общая. Здесь происходит то же, что и в случае плеча и лопатки: опять человек не умеет разделять двух сходных движений. А вот при полусогнутом локте то и другое движение разделить очень легко: в самом деле, пронация при этих условиях выразится по-прежнему вращениями предплечья вокруг продольной оси, и ротация плеча заставит предплечье поворачиваться кругом него, как спица колеса. Всего яснее, может быть, движения предплечья вырисовываются из модели рис. 19. Из него следует, что луч мог бы и не быть сочлененным с плечом; ту же форму подвижности имел бы он, если бы был сочленен с одной только локтевой костью одностепенным сочленением. Лучевая кость есть в сущности далеко разросшийся назад отросток кисти и у многих млекопитающих она и в самом деле не доходит до плечевой кости.

Кисть руки соединена исключительно с лучом. В основании кисти лежат в два ряда мелкие косточки неправильной формы — так называемое запястье. Между верхним из рядов и лучом, а также между обоими рядами находятся одно за другим два сочленения: лучезапястное и межзапястное. Первое из них — яйцевидное (две степени подвижности); форма второго — совершенно нескладная, по которой о подвижности ничего предсказать нельзя. Опыт показывает, что оно тоже двухстепенно; поэтому мы подвижность обоих сочленений будем рассматривать заодно. Если я буду

удерживать предплечье нашего испытуемого у его нижнего конца, то вы убедитесь, что кисть может только качаться по всем направлениям, но не может совершать поворотов вокруг продольной оси. Проверьте на себе в свободное время, каковы границы подвижности вашей кисти в лучезапястном сочленении.

В самой кисти вместе с пальцами — множество мелких сочленений (кисть состоит из 27 мелких костей), и разбираться в движении всех их нам не придется; это сделано подробно в моей книжке «Общая биомеханика». Здесь выделим коротко то, что нам важнее всего.

Соединения между кистью и пальцами (пястно-фаланговые сочленения), которые выступают на тыльной стороне кисти в виде бугорков, представляют собою опять шаровые сочленения. Пястные кости, которые лежат в мясистой части ладони и почти неподвижны одна относительно другой, имеют на дальних концах шаровые головки. Основные фаланги пальцев имеют соответствующие впадины. Между тем подвижность пястно-фаланговых сочленений только двухступенна (как и между лучом и плечом). Вы можете активно, с помощью мышц, произвести сгибание — разгибание и приведение — отведение каждого пальца: правда, два последних движения — в очень узких границах. Вращать палец вокруг продольной оси мы не умеем, у нас нет для этого подходящих навыков и подходящих мышц.

Пястно-фаланговое соединение большого пальца тоже шаровое, но совсем мало подвижное. Громадная подвижность большого пальца зависит от подвижности его пястной кости. Вы помните, что ее сочленение с запястьем имеет седловидную форму (рис. 6). Подвижность пястной кости большого пальца очень разносторонне именно благодаря ей большой палец может противопоставляться всем остальным. Этот маленький факт немножко большей подвижности одной из косточек кисти имел, между тем, решающее значение для судеб всего человечества. Можно смело сказать, что благодаря этому устройству большого пальца, обуславливающему громадные разнообразия хватательных движений, человек впервые научился обращаться с орудиями и инструментами. Наряду с выпрямленной походкой, может быть, ни один биомеханический факт не имел для человека такого решающего культурно-исторического значения.

На этом мы покончим с сочленениями руки. О возможных для руки движениях мы будем лучше говорить дальше в связи с рассказом о мышцах руки. Теперь перейдем к подвижности головы, шеи и туловища.

Несколько слов стоит, пожалуй, сказать о подвижности нижней челюсти. Она соединена с черепом целыми двумя сочленениями, которые находятся по сторонам черепа под скуловыми дугами. По форме этих

сочленений не видно, какова подвижность нижней челюсти. Здесь надо пробовать. Опишите сами как может двигаться ваша нижняя челюсть.

Слушатели. Можно открывать и закрывать рот.

Лектор. Это уже одна степень. Нет ли еще?

Слушатели. Вперед и назад.

Лектор. Есть еще одна степень. Все это или еще нет?

Слушатели. Все.

Лектор. А движения в стороны? Как видите, пара сочленений нижней челюсти дает настоящую трехстепенную подвижность. Вы можете наложить средние пальцы обеих рук на щеки, как раз у передних концов ушных мочек; в этом месте прощупываются сочленовные бугры нижней челюсти. Ощупайте на себе, что происходит с ними при движениях челюсти.

Интересный случай подвижности представляет собою голова. Ее подвижность очень велика, но зависит не от одного сочленения, а от нескольких, лежащих одно под другим цепочкой. Первое из них, соединяющее череп с первым шейным позвонком, относится к яйцевидным, следовательно, дает голове две степени подвижности относительно шеи. Так как его впадина расположена горизонтально, то голове доступны в нем качания около любой горизонтальной оси, т.е. наклоны вправо, влево, вперед и назад. Повороты головы в стороны осуществляются иначе. Первый шейный позвонок имеет вид кольца, которое положено на следующий нижележащий позвонок, снабженный торчащим кверху шипом. Первый позвонок лежит на втором, как на подпятнике, и может вместе с опирающимся на него черепом поворачиваться кругом шипа как раз в направлении третьего, недостающего черепу вращения. Значит, подвижность черепа относительно подпятника имеет уже все три степени. Подвижность позвонков между собой зависит от гибкости межпозвоночных хрящевых прокладок, о которых уже говорилось раньше. Но кроме прокладок между позвонками (вернее, между позвоночными дугами) имеются еще настоящие сочленения, которые повышают прочность связи между позвонками, но зато уменьшают их подвижность. В общем и у позвоночника удобно различать три типа движений: наклоны вперед и назад, наклоны в стороны и скручивание. Нормально позвоночник имеет несколько изгибов, сохраняющихся в покойном стоячем положении. На рис. 1 видно, что шейные и поясничные части позвоночника обращены выпуклостью вперед, а грудная часть — выпуклостью назад. Свойство подвижности позвоночника таково, что он легко увеличивает существующие в нем выпуклости, и очень неохотно распрямляет их. Поэтому при изгибании позвоночника назад искривляются шейная и поясничная части, а грудная почти не меняет своей формы; при сгибании вперед искривляется, наоборот, грудная часть, а шейная и

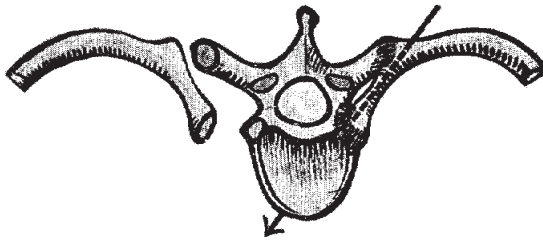


Рис. 20. Сочленение между позвонком и ребрами. Стрелка изображает ось, вокруг которой может качаться ребро (по Моллиеру)

поясничная почти не распрямляются. Подвижность позвоночного столба при наклонах в стороны и при кручении сильнее всего выражена в шейной части, а слабее всего — в поясничной.

С позвоночником, в его грудной части, соединены 12 пар ребер. Рис. 20 дает понятие о строении позвоночно-реберного сочленения. Как видите, с каждым ребром сочленение двойное. Поэтому, конечно, какова бы ни была форма сочленовных поверхностей, ребру доступны только качания вокруг оси, проходящей через центры обоих сочленений. Каждое ребро связано с позвоночником с одной степенью подвижности. Оси сочленений расположены так, что передние концы верхних ребер могут двигаться вверх и вниз, а передние концы нижних, кроме того, раздвигаться в стороны. Это и происходит при вдыхании и, очевидно, содействует расширению грудной клетки. Передние концы всех ребер, кроме двух нижних пар, соединены хрящами между собою через посредство костяной перекладки — грудной кости. Очевидно, что при дыхательных движениях эти реберные хрящи различным образом мнутся.

Теперь надо обратиться к сочленениям ноги, но этого нельзя сделать без некоторого предисловия. Дело в том, что кости, сочленения и мышцы исполняют не только двигательную роль, а, в первую очередь опорную. Как раз в способе соединения пояса нижних конечностей (иначе называемого тазовым поясом) с туловищем это обстоятельство имеет первостепенное значение. Обратимся опять к нашим четвероногим предкам.

У четвероногих млекопитающих должность всех четырех конечностей состоит в том, чтобы служить подпорками позвоночному столбу, перекинутому между передними и задними конечностями наподобие моста. В первоначальном плане и та, и другая пара конечностей прилажены к опорам этого моста одинаково: они устроены и тут, и там, как козлы, между рогатками которых заклинен позвоночный столб. В тазовом поясе такое строение проявляется особенно четко: две поверхности, которыми тазовые

кости сочленены с позвоночным столбом, обращены кверху и друг к другу и зажимают между собой позвонки, как замок свода. Таз четвероногого есть и в самом деле свод.

Разберитесь слегка в механике сводовых сооружений. В своде тяжесть давит сверху на его среднюю часть (замок свода), давление передается далее по обеим сторонам на опоры свода. Если вообразить, что на месте замка имеется шарнир и обе половинки свода жестки, то давление на шарнир сверху будет передаваться ножкам свода в виде раздвигающего усилия. Ножки будут стремиться раздаться в стороны. Для того, чтобы воспрепятствовать этому, ножки сводов строительных сооружений прочно врывают в землю. Разумеется, у животного, даже когда оно стоит как «вкопанное», ноги все-таки никуда не вкопаны, и надо укрепить их иначе. Укрепление достигается тем, что между ножками тазового свода, как раз под замком, помещается прочная сухожильная растяжка.

Плечевой пояс оборудован по-другому. Он не может уже непосредственно заклинить позвоночный столб, так как этому мешает каркас грудной клетки, втискивающийся между передними конечностями. Если представить себе, что передние и задние конечности имеют одинаковую длину, то окажется, что позвоночник — место укрепления задних конечностей — лежит выше, чем их верхушки; наоборот, грудинная кость, к которой в конечном счете приходится прикрепляться передним конечностям, лежит ниже их верхних концов. Поэтому в то время, как задние конечности поддерживают позвоночник по типу арочного моста, передним приходится поддерживать грудную клетку по типу висячего сооружения. Потому-то между передними конечностями и туловищем и нет прямой жесткой связи. Их связь, как и подобает подвесному сооружению, исключительно мягкая и осуществляется мышцами и связками. О ней мы и будем говорить в следующих лекциях, когда дойдем до мышц.

Видите, как целесообразно приспособлен был таз для своей опорной задачи у четвероногих млекопитающих. У человека с его выпрямленной походкой вся эта структурная рассчитанность в сильнейшей степени пошла насмарку. Действительно, свод или арка выполняют свою задачу только при том условии, когда нагрузка арки, точки ее опоры, и нижняя растяжка лежат одни под другими. Теперь вообразите, что четвероногое стало на две задние ноги и повернуло корпус вместе с тазом на 90° , так, что арка оказалась лежащей плашмя. Ясно, что в этом положении она не может отвечать своему назначению; ее пришлось поворачивать обратно.

И вот начинается ряд косвенных обходных попыток починить нарушенную целесообразность тазового пояса. Переустройство таза у человека, сравнительно с четвероногими млекопитающими, производит такое

впечатление, какое произвела бы постройка, подвергающаяся поспешному лишенному плана и расчета ремонту. Во-первых, позвоночник в поясничной части круто выгибается вперед; вернее сказать, таз вместе с крестцовой частью позвоночника круто отклоняется назад, стремясь занять свое прежнее положение арки. На рис. 1 первой лекции виден получившийся при этом громадный горб позвоночника, выпячивающийся внутрь таза. Нечего и говорить, сколько затруднений принес этот неудачный ремонт для механизма родов. Череп у ребенка человека больше, чем у четвероногих, а проход для него получился искривленный и тесный.

Но и этим поворотом таза положение еще не исправилось окончательно. Растяжка таза так и не смогла оказаться под местом наибольшего давления. Тогда соответственно этой оказавшейся впереди растяжке сильнее развились еще растяжки сзади между тазом и крестцом. Эти растяжки убили подвижность крестца и этим внесли новую помеху для родового акта. В результате всех этих неудач таз человека представляет собой как сооружение, нечто довольно сложное, и ближе на его статических свойствах мы останавливаться не будем. Мне важно было дать вам понятие о механике развития тазового пояса в том виде, в каком он представлен у человека.

По обеим сторонам человеческого таза лежит по сочленовной впадине для бедер. Я уже говорил, что тазобедренное сочленение относится к шаровым (рис. 5), и потому по вопросу о его подвижности нам пришлось бы повторять многое из того, что мы уже говорили о сочленении плечевом. Разница между обоими главным образом в том, что подвижность тазобедренного сочленения значительно меньше. Причин для этого две.

Во-первых, лопаточная площадка плечевого сочленения очень мала, и потому плечевая головка может скользить по ней в очень широких границах, не встречая закраин. Тазовая впадина тазобедренного сочленения охватывает больше, чем целое полушарие. Единственный раз в анатомии человеческих суставов здесь головка сочленяемой (бедренной) кости вправду захвачена жестко. Широкая головка бедра покрыта хрящом, примерно на три четверти полного шара; значит, для ее подвижности остается свободной только четверть шара, т.е. 45° . в каждую сторону или всего для каждого направления движения 90° .

Вторая причина та, что движениям плеча помогает собственными движениями весь плечевой пояс: и лопатка, и ключица. Таз человека совершенно лишен всякой внутренней подвижности; бедро может пользоваться только теми границами подвижности, которые дает ему тазобедренное сочленение.

Поле подвижности бедра расположено так, что бедро может порядочно смещаться вперед и наружу и очень мало — назад и внутрь.



Рис. 21. Правое тазобедренное сочленение сзади, очищенное от всех облегающих его мышц, чтобы можно было видеть связку, закрученную спиралью (по Шпальтегольцу)

Так как границы подвижности в сильной степени определяются податливостью сумочной связки, которая при крайних положениях натягивается, то получается, что в стоячем положении, когда бедро находится близ задней границы своей подвижности, сумочная связка тазобедренного сочленения довольно сильно натянута. Такое натяжение оказывается полезной вещью. Центры тазобедренных сочленений приходятся несколько впереди от того места, где туловище опирается на таз. Следовательно, туловище в силу тяжести стремится завалиться назад. Вот этому-то опрокидыванию и препятствует натяжение связки. На рис. 21 изображено, как эта связка закручена спиралью вокруг

верхнего конца бедренной кости и этим помогает равновесию туловища. О коленном сочленении нам придется сказать не так много. Мы уже описали его своеобразное устройство с хрящевыми вогнутыми прокладками. Остается прибавить, что суставы человеческой ноги стали особенно массивными с тех пор, как двум ногам пришлось нести на себе нагрузку, ранее распределявшуюся на четыре. В связи с этим коленное сочленение очень широко – это самое громоздкое из человеческих сочленений – и рассчитано на большие нагрузки. Несмотря на упругие прокладки, оно имеет почти точно одну степень подвижности: сгибание и разгибание. Но связки коленного сочленения, рассчитанные на особую прочность при стоянии, т.е. при выпрямленном колене, несколько расслабляются при колене согнутом, и тогда сочленение приобретает еще одну степень подвижности – вращаемость голени вокруг ее продольной оси. В нижней конечности нет ни перекреста обеих костей дальнего отрезка (а почему его нет, было рассказано в первой лекции), ни чего-либо похожего на механизм пронации и супинации. У человека вторая кость голени – малая берцовая – имеет вообще ничтожное механическое значение. Она очень тонка, не может удержать тяжесть туловища, и если переламывается большая берцовая кость, то обыкновенно вслед за ней ломается и малая. Малая берцовая

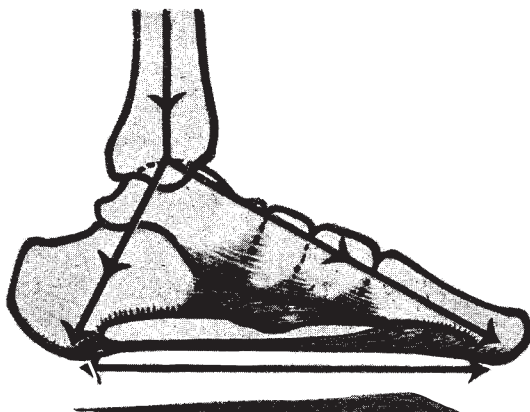


Рис. 22. Свод, образуемый костями стопы, и его сухожильно-мышечная растяжка (по Молиеру)

кость не стоит ни в какой связи с коленным сочленением, а с нижележащим голеностопным соединена только второстепенным образом. Она есть вообще явный сверхштатный сотрудник.

Прежде, чем говорить о соединении между голенью и стопой, надо сказать несколько слов о механическом устройстве самой стопы. Стопа так же, как и многие из уже рассмотренных конструкций, представляет собой свод. Его строение удобнее всего понять из рис. 22. В сущности это даже не один, а два смежных свода. Вершиною для обоих сводов служит одна и та же надпяточная кость. Задняя подпорка у обоих сводов тоже одно: это есть уже упоминавшаяся пяточная кость, которая кончается сзади большим, далеко выступающим назад бугром. К переднему же концу оба свода раздваиваются: один кончается основанием большого пальца, другой — основанием мизинца.

Первый свод более высок и упруг; он отпечатывается (если ступить босой мокрой ногой на пол) только своими кончиками. Наружный свод более плоский и отпечатывается всегда сплошной полосой. Упругость ноги при ходьбе и стоянии зависит, главным образом, от свода «большого пальца»; им определяется то, что называют подъемом стопы.

Растяжкой своду стопы служит крепкая сухожильная пластинка, лежащая на подошвенной стороне и соединяющая пяточный бугор с основаниями пальцев. Ей помогают и сильные мышцы, расположенные рядом с нею.

Вся стопа, как и кисть руки, состоит из многих мелких костей, но взаимной подвижностью многих из них мы смело можем пренебречь.

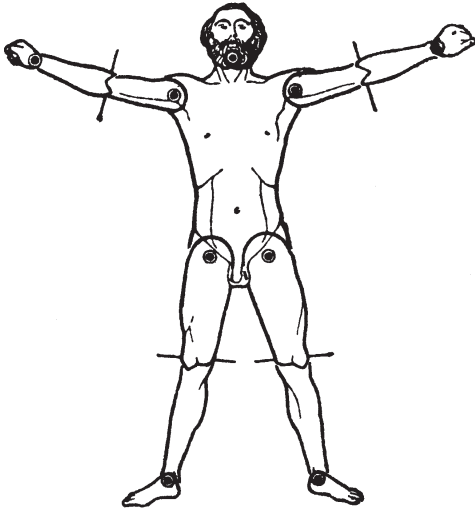


Рис. 23. Сокращенная схема тела.
Объяснения см. в тексте

Существенны для нас движения в сочленениях между надпяточной костью и соседними с ней костями.

Сверху надпяточная кость сочленена с большой берцовой (голеностопное сочленение). Это настоящее блоковидное сочленение с одной степенью подвижности; с его помощью стопа может поворачиваться вокруг поперечной оси, т.е. носком прямо кверху и прямо вниз. Это движение мы зовем сгибанием и разгибанием стопы.

Снизу та же надпяточная кость соединена с двумя

костями внутреннего свода стопы. На наружный свод тяжесть тела передается не непосредственно, а через внутренний. Это нижнее сочленение (неправильно называемое нижним голеностопным) обладает тоже одной степенью подвижности. Его ось проходит наискось; с его помощью стопа подворачивается внутрь и наружу. При обыкновенной рабочей стойке, для рубки зубилом или опилки, передняя (левая) стопа движется в верхнем голеностопном сочленении, т.е. сгибается и разгибается; задняя (правая) движется в нижнем сочленении. Это последнее движение называют часто пронацией и супинацией стопы. В общей сложности, следовательно, стопа имеет по отношению к голени две степени подвижности.

Просмотрим в заключение бегло, как выглядят разобранные нами в этой лекции сочленения в сокращенной схеме тела (рис. 23). Первые сочленения всех четырех конечностей (плечевые и тазобедренные) относятся к трехстепенным — это обозначено на рис. 23 двойными кружками. Вторые сочленения (локтевые и коленные) одностепенны, имеют только подвижность сгибания и разгибания. Третьи сочленения, лучезапястные и голеностопные, двухстепенны. Наконец, где-то на протяжении вторых отрезков конечностей (предплечий и голеней) сосредоточено еще по одной степени подвижности: пронация и супинация кисти и продольные вращения голени. Это последнее движение в сокращенной схеме удобнее отнести тоже к третьим сочленениям. Тогда сочленения сокращенной схемы

окажутся расположенными очень симметрично и правильно: и на ногах, и на руках первые и третьи сочленения будут иметь по три степени подвижности, средние сочленения — по одной степени. Наконец, голова, как мы помним, имеет относительно шеи также три степени подвижности, слагающиеся из двух степеней верхнего сочленения и одной степени нижнего. При изучении человеческих движений мы будем постоянно принимать в расчет именно такое слегка упрощенное распределение подвижности.

В следующей лекции мы перейдем к разбору того, как описанный нами сейчас шарнирный манекен человеческого скелета снабжен мышцами и как он ими обслуживается.

Лекция 4

Товарищи! Вам всем случалось, вероятно, видеть анатомические картинки, на которых бывает нарисован человек без кожи, во всех направлениях покрытый разнообразными мышцами. Может быть, вам и не приходилось задумываться над тем, почему эти мышцы распределены именно так, а не иначе, почему их очертания так запутаны и прихотливы. Между тем, это вопрос, который непременно поднимается перед каждым студентом, который, приступая к анатомии мышц, с первых шагов видит себя поставленным перед необходимостью тяжелой зубрежки. Естественно спросить, неужели в этой путанице разнообразных мышечных форм нет никакого упорядочивающего закона, который дал бы возможность взять здесь не только памятью, но и пониманием? Вот мы и будем пытаться сегодня вывести такие законы и вскрыть биомеханический смысл существующего у человека распределения мышц.

Во второй лекции мы говорили по преимуществу о свойствах и способах работы простейшего мышечного двигателя — мышечного волокна. Вы помните, что каждое такое волокно, имеющее в поперечнике много меньше, чем тонкий волос, есть настоящий законченный двигатель, снабженный собственным нервом и способный сокращаться вполне самостоятельно. Но мышцы человека представляют собою не просто груды таких волокон, нагроможденных без порядка и смысла. Наоборот, группы волокон собраны в более крупные организованные единицы — то, что обычно называют мышцами, — и притом сорганизованные в разных случаях очень различным образом. Разберем сначала основные встречающиеся здесь типы монтажа мышечных волокон.

Уже сравнительно небольшие группы мышечных волокон, проложенных рядом друг с другом, объединены вместе упругими футлярчиками, образуя таким образом первичные мышечные единицы. По несколько таких единиц собираются обычно вместе опять-таки в общем чехле; наконец, каждая целая мышца бывает одета с поверхности таким же точно упругим чехлом в виде рукава, в некоторых случаях усиленным еще особенно прочными сухожильными волокнами. Способы и порядки, в которых первичные мышечные единицы бывают собраны в целую мышцу, довольно разнообразны.

Представьте себе одно мышечное волокно длиной, например, в 10 см. Допустим, что такое волокно может поднять тяжесть одной песчинки на высоту 5 сантиметров. Так как работа измеряется произведением веса груза на высоту подъема этого груза, то приведенными сейчас данными мы определили нечто, что можно назвать работоспособностью мышечного волокна (я не указываю точных цифр, к тому же разнообразных, потому что это в дальнейшем нам не понадобится). Вообразите теперь второе волокно тех же размеров и того же устройства, как и первое. Надо полагать, что и его работоспособность выразится в подъеме такой же песчинки на ту же высоту. Понятно, что если мы поставим оба волокна рядом, то они оба вместе смогут поднять на ту же высоту (5 см) груз, равный весу двух песчинок, — по-прежнему по песчинке на каждое. Отсюда выводим: если объединять волокна в параллельный пучок, ставить их бок о бок, то увеличивается груз, который этот пучок может поднять, а высота подъема остается той же, как у каждого отдельного волокна. Тысяча волокон, все того же размера и свойства, поднимут на 5 см груз в тысячу песчинок. Мы выразим это так: подъемная сила мышечного пучка (сила ведь как раз и измеряется грузом) пропорциональна площади поперечного разреза пучка.

Наше исходное волокно втаскивало свою песчинку на высоту 5 сантиметров, т.е. на половину своей первоначальной длины. Возьмем теперь другое волокно с такими же точно свойствами, но уже в 20 сантиметров длиной. Раз свойства этого нового волокна те же, то и грузоподъемность его будет та же — одна песчинка. Раз свойства его те же, то и оно сможет втянуть свой груз на половину своей первоначальной длины. Эта последняя величина составит, однако, в данном примере уже 10 см. Следовательно, вдвое более длинное волокно тоже дает увеличение работоспособности вдвое, но уже на этот раз не за счет увеличения груза, а за счет увеличения высоты подъема. Это второе наблюдение обобщим так: высота подъема пропорциональна первоначальной длине мышцы. Отсюда же выведем и такое (приблизительное) заключение: произведение груза на высоту подъема пропорционально работоспособности мышцы, произведение площади поперечного сечения мышцы на ее длину примерно пропорционально ее объему. Значит, в свою очередь, работоспособность мышцы пропорциональна ее объему, иначе говоря, — содержащемуся в ней количеству мышечного вещества.

Не всегда работа, требуемая от мышцы, имеет одинаковый характер. Иногда требуется подтягивать на небольшую высоту или просто держать на весу значительный груз; иногда, наоборот, вопрос стоит о поднимании малого груза на значительную высоту. Сообразно с этими противополож-

ными задачами мышцы человеческого тела можно грубо разбить на два различных класса.

К одному из этих классов придется отнести короткие и толстые мышцы, обладающие большой силой и малым размахом действия. В наиболее простом случае такие мышцы выглядят как широкие пластинки коротких параллельно расположенных волокон. Эти мышцы располагаются по преимуществу в тех местах, где требуется постоянное стойкое напряжение значительной силы. Мышца такого типа (ромбовидная) играет важную роль в подвесе лопатки и плечевого пояса. Иногда расположение волокон таких мышц несколько меняется: они по-прежнему коротки и параллельны друг к другу, но уже проложены наискось. Одними концами они начинаются от какой-нибудь длинной кости, а другими прикреплены к длинному собирающему сухожилию в виде шнура, которое объединяет на своем конце силу всех отдельных волокон. Таким образом вся мышца приобретает форму половины пера. Встречаются и двухсторонние перистые мышцы.

Другой класс мышц содержит в себе длинные и не толстые мышцы. Самый простой пример такого рода — это мышца, которая соединяет сосцевидный отросток черепа (под ушной мочкой) с грудинной костью. Эта мышца выступает ясно на боковой стороне шеи, если повернуть голову в противоположную сторону и притом наклонить ее вперед (рис. 24). Эта мышца имеет в длину сантиметров 20-25 и вся состоит из длинных параллельных волокон. Способ ее работы совсем иной, чем у мышц первого класса: она не очень сильна, ее силу можно легко преодолеть, если поворачивать голову рукой; и больше того, неосторожным движением можно повредить ее, вызвать растяжение («свернуть шею»). Зато размахи ее движений очень велики. Благодаря паре этих мышц голова обладает большой поворотливостью.

В разных случаях эти длинные и тонкие мышцы приобретают также разные формы. Здесь, как кажется, все зависит от места начала и прикрепления мышцы, т.е. от второстепенных обстоятельств. Очень часто такие мышцы имеют форму



Рис. 24. Мышцы шеи с правой стороны. Во всю длину рисунка наискось тянется мышца, наклоняющая голову (грудинно-ключично-сосцевидная мышца) (по Шпальтегольцу)

веретена или форму веера, волокна которого начинаются на широкой поверхности кости и потом собираются с разных сторон в одно тоненькое концевое сухожилие. Среди таких мышц попадаются и более своеобразные формы с двумя головками, с двумя брюшками, с сухожильными перемычками посередине, но в эти подробности мы сейчас входить не будем. Общая картина такова, что мышцы первого класса можно бы сравнить с товарным паровозом, с широкими цилиндрами и маленькими колесами, рассчитанными на тихий ход и большую силу тяги. Мышцы второго класса скорее подойдут к типу паровоза-экспресса.

Это простое и изящное разделение в жизни проведено, однако, не так уже строго. Вы помните, что работоспособность мышцы зависит от

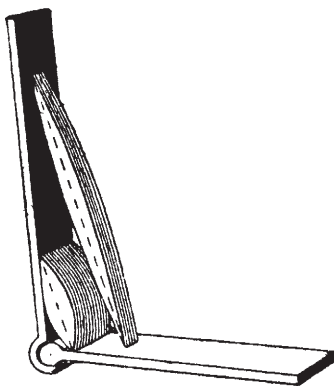


Рис. 25. Эти две (схематически-изображенные) мышцы механически совершенно равнозначны друг с другом

ее объема, а не от формы. Вы знаете из механики, что один вид работы можно превратить в другой вид без потерь и притом самыми простыми механическими средствами – например, рычагом. Если к одному концу рычага, лежащему ближе к точке опоры, приложить большую силу, то ее может уравновесить и даже преодолеть малая сила, если она приложена достаточно далеко. При прямолинейном рычаге равновесие, т.е. равнозначность двух сил, достигается тогда, когда произведения этих сил на длины плеч рычага (так наз. моменты сил) равны между собою. При этом еще, когда малая сила заставляет свое плечо пройти большой путь, то уравновешивающая ее на другом конце большая сила проходит вместе со своим

плечом малый путь. Сам собою напрашивается вывод, что если к одному и тому же рычагу присоединить две мышцы из обоих классов, то одна из них при целесообразном расположении сможет прекрасно уравновесить другую, а значит, и заменить другую. Из этого, в применении к мышцам, мы выведем такое следствие, имеющее первостепенную важность: две мышцы могут вполне и во всех отношениях заменить одна другую, если их моменты относительно оси данного рычага равны.

Рычагами для мышц служат кости. Поэтому можно вынести суждение о том, на что способна данная мышца только в том случае, если принять во внимание, кроме ее размера и формы, еще и плечо того рычага, на который ей приходится действовать, т.е. расстояние точки прикрепления ее сухожилия

от оси сочленения. На рис. 25 вы видите, что короткая и толстая мышца при подходящем расположении может полностью заменить длинную и тонкую мышцу.

Вообразите себе, что на кисть руки положен груз в 1 килограмм. Каждый из вас способен, конечно, сгибанием локтя поднять не 1 килограмм, а вероятно 10-15. Длина предплечья у обыкновенного нормального человека около 25 см. Расстояние от лучезапястного сустава до центра кисти около 10 см. Значит, длина предплечного рычага до точки, в которой находится груз, составляет около 35 см у взрослого мужчины. Теперь второе плечо рычага, которое простирается от точки вращения рычага к тому месту, где прикреплена мышца, не бывает больше 5 см. Значит, оно в 7 раз короче, чем плечо, на котором держится груз. Здесь, следовательно, имеется рычаг второго рода. Точка опоры у него в локтевом сочленении; одна сила действует на расстоянии 5 см, другая на расстоянии 35 см. Сила груза, которая действует вниз, скажем 1 килограмм. Теперь спрашивается: какова должна быть сила мышцы для того, чтобы уравновесить этот килограмм? Вот вам маленькая задача. Одно плечо 5 см, другое – 35 см. Какая сила должна быть здесь?

Слушатель. 7 килограмм.

Лектор. Представьте себе, что один из вас на своей кисти руки держит пудовую гирию. Сильный человек это может сделать. Будем считать ее за 16 килограмм. Это соответствует силе напряжения мышцы в 112 килограмм, т.е. около 7 пудов. Стало быть мышца в общей сложности способна развивать гораздо большее напряжение, чем мы привыкли думать. Давайте решим еще одну маленькую задачу из той же области. Для этого придется немного упростить те отношения, которые в действительности существуют. Берем опять то же самое локтевое сочленение. Я позволю себе его нарисовать совсем схематично. В этом локтевом сочленении работают содружественно не одна мышца, а целых две. Одна из этих мышц – двуглавая – идет более поверхностно; я ее рисую схематически в виде стрелки. Другая мышца, которую на себе прощупать трудно, лежит гораздо глубже, но расположена, приблизительно, параллельно первой, так, как другая стрелка, которую я рисую. Я изображаю их в виде большой стрелки и маленькой. Надо сказать, что человек не умеет напрягать одну мышцу в отдельности и оставлять остальные в покое. В дальнейших лекциях мы убедимся, как мы плохо пользуемся нашими мышцами и как мало у нас в этом смысле ловкости. Также не умеем мы отдельно пускать в ход двуглавую и внутреннюю плечевую мышцы. (Конечно, если бы мы приложили электрические проводники – электроды – к этим мышцам и пустили бы через них ток, то они могли бы сократиться по отдельности). Предположим, однако, что мы сами сумели пустить в ход одну и другую

мышцу по отдельности. Теперь давайте решать такую задачу. Будем считать, что плечо рычага, с которым соединена внутренняя плечевая мышца, в три раза меньше, чем плечо рычага двуглавой. Во сколько раз сильнее или слабее должна напрячься короткая мышца, чем длинная, для того, чтобы уравновесить тот же самый груз?

Слушатель. Сильнее в 10 раз.

Лектор. Вы думаете, в 10 раз? Давайте разберем. Значит, плечо груза по-прежнему 35 см Плечо двуглавой мышцы – 5 см Плечо короткой мышцы втрое меньше, стало быть $\frac{5}{3}$ см Во сколько раз короткая мышца должна напрягаться сильнее, чем двуглавая? (Слушатель затрудняется ответом). Представьте себе еще цифру. Здесь груз в 1 кг. Каково будет напряжение каждой из мышц, если они работают в одиночку? Ну, скажем, напряжение двуглавой приблизительно 7 кг. Напряжение плечевой – 21 кг., – значит, в три раза больше, чем напряжение двуглавой мышцы. Мы убедились в том, что человек, который может поддерживать пуд на вытянутой руке, может напрягать свою двуглаву мышцу приблизительно до 100 кг. Стало быть предельная сила составляет 100 кг. Если бы внутренняя плечевая мышца способна была тот же самый груз поддержать на вытянутой руке (на самом деле она не может, но если бы могла), то какое напряжение потребуется для этого? Двуглавая 100 кг., а внутриплечевая?

Слушатель. 300.

Лектор. 300 кг. Теперь представьте себе, что у нас есть какая-нибудь возможность сфабриковать искусственную мышцу. Возьмем в качестве костей 2 дощечки, соединим их шарниром, натянем между ними искусственную мышцу, которая и должна изображать двуглаву. Соорудим ее таким образом, что эта мышца будет способна уравновесить пудовый груз на конце дощечки, т.е. будет способна развить силу в 100 кг. Теперь я предлагаю спроектировать такую мышцу, которая могла бы дать напряжение, необходимое для поддержания одного пуда, будучи расположена как внутренняя плечевая. Какой она должна быть длины и величины и т.д., чтобы выдержать 300 кг.? Во сколько раз она должна быть толще?

Слушатель. В 3 раза.

Лектор. Ясно, она должна быть в три раза толще. А во сколько раз короче?

Слушатель. В три раза.

Лектор. Теперь объем. В какой из двух мышц количество мышечного вещества должно быть больше или меньше?

Слушатель. Больше... меньше.

Лектор. Почему больше?

Слушатель. То же самое.

Лектор. Конечно, то же самое. Почему? Потому, что работа все равно будет одной и той же. Какую бы мышцу мы ни взяли, работа будет зависеть только от того, сколько мышечного вещества мы пустили в дело. Здесь мы рассчитали совершенно верно, что они будут одинаково работоспособны, если они будут одинакового объема. Я вам порекомендовал несколько книжек; в одной из них, очень хорошей книжке И.М. Сеченова (Очерк рабочих движений человека), высказано то же, о чем мы сейчас говорили. Но там говорится, что короткая и толстая мышца существенным образом отличается от мышц длинных и тонких. Мы с вами видели, что они действительно отличаются, но только тогда, когда мы им предлагаем непосредственно подтягивать груз. Если же они монтированы для работы по закону рычага, то картина получается другая. Короткую и толстую мышцу можно заменить длинной и тонкой, если мы ее соответствующим образом расположим. Появление толстых мышц или тонких зависит большей частью от того, каковы общие условия работы мышцы, где она расположена, где ей удобно находиться и т.д.

Обратимся теперь к тому, как мышцы обслуживают целые сочленения с разными степенями подвижности. Как вы помните, во второй лекции говорилось, что мышца во многих отношениях похожа на цилиндр двигателя внутреннего сгорания. Кстати сказать, сходство это выдержано и для только что разобранный разделении мышц на два класса. Каждый из вас, кто имел дело с автомобилями, знает разницу между значением поперечного сечения цилиндра и хода поршня. Ту роль, которую для мышц играет длина плеча рычага, для автомобильного двигателя берет на себя передача и коробка скоростей. Но сходство сохраняется и в том отношении, что и мышца, и поршень автомобильного цилиндра могут производить активное движение только в одном направлении, а для обратного направления нуждаются в посторонней силе. Иногда (в одноцилиндровых двигателях мотоциклов) такой посторонней силой служит маховик; в наших опытах с мышцей во второй лекции мы для той же цели пользовались растягивающим грузом. Гораздо удобнее, однако, составить двигатель из двух противоположно действующих половин. В многоцилиндровых двигателях внутреннего сгорания разные цилиндры помогают друг другу тем, что когда один совершает свое активное движение, он в то же время помогает сотоварищам, соединенным с ним через общий вал, произвести их пассивную часть движения (насосать смесь и сжать ее). Так же артелями организованы повсюду и мышцы. Они размещены по разным сторонам сочленения так, что если одна из них совершает поворот сочленения в каком-либо одном направлении, то остальные своими активными сокращениями способны повернуть ту же часть тела обратно. Такие группы мышц противоположного действия но-

сят специальное название мышц-антагонистов, но это название, как мы, может быть, увидим еще и в этом курсе, очень неудачно. Для биомеханика существенно не то, что эти мышцы суть как бы противники между собой, а наоборот, то, что они артельным, коллективным порядком участвуют вместе в совершении каждого данного движения. Как располагаются члены таких артелей, можно будет понять, однако, только после того, как мы взглянем на роль мышц с совсем новой стороны.

До сих пор мы упорно и постоянно смотрели на мышцы исключительно как на двигатели. Между тем основная роль (и может быть, самая старинная роль) мышц состоит в том, чтобы служить неотъемлемой строительной частью тела животного, необходимой для его прочности. Возьмите часового, стоящего в совершенно окаменевшей позе перед каким-нибудь памятником или дворцом. Где же тут движение? Он застыл, как кукла, а между тем, попробуйте-ка поставить в такой же позе голый костный скелет. В последнем налицо все те же жесткие части, что и в живом часовом, однако без целого ряда опор скелет стоять не будет, он рухнет. Вся разница в том, что у живого человека и для неподвижного стояния мышцы нужны ровно в такой же мере, как и кости. Они суть неизбежный статический элемент человеческого сооружения.

Возьмем, пожалуй, еще пример. Мышцы суть мягкие растяжки, как уже было сказано. Такими же нежесткими растяжками являются канаты висячего моста. Попробуйте-ка перерезать эти канаты; вы этим не убавите ни одной жесткой части, между тем автомобилям и поездам, проходящим в этот момент по мосту, придется плохо: они выкупаются в реке. Относительно канатов это всем очень хорошо известно, и потому за покушение на их перерезку человек попадет в милицию. Относительно мышц об этом почему-то мало кто думает.

Сравним для примера устройство скелета и мышц человека с таким же устройством насекомых. Вот у последних мышцы играют только двигательную роль, и мертвое высохшее насекомое обладает точно той же прочностью, как и насекомое живое. Звенья, конечностей насекомых имеют строение жестких трубок, одинаково прочных как по отношению к сжатию, так и к растяжению; поэтому их мышцы (рис. 26) выполняют чисто двигательную роль. Они помещены внутри трубок и заняты только разнообразным подтягиванием их.

Не то у позвоночных. У них скелет построен везде по одному принципу: жесткий стержень в середине, упругие растяжки по сторонам. Первый работает на сжатие, вторые — на растяжение. По такому принципу, например, строятся радиотелеграфные мачты, обладающие стержнем в середине и растягиваемые тросами с четырех сторон.

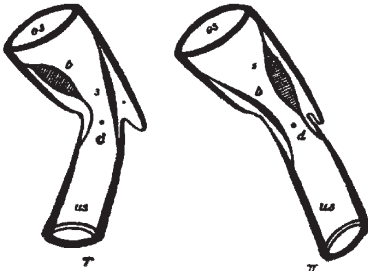


Рис. 26. Разрез сочленения насекомого и расположение мышц, управляющих этим сочленением (по Шенихену)

Все различие между искусственными сооружениями такого рода и человеческой машиной состоит в том, что у радиоматчи растяжки имеют постоянную длину и почти нерастяжимы, в то время, как у позвоночного часть этих растяжек может менять свою длину и степень натяжения. Мышцы суть простые тросы, но только тросы с регулировкой длины.

В живой машине позвоночных два вида тканей берут на себя сопротив-

ление сжатию: это костная и хрящевая ткань. Эти две ткани стоят между собою в близком родстве, могут замещать одна другую и часто развиваются из общего первоисточника. Точно так же задачу сопротивления растяжению берут на себя две другие группы тканей, опять-таки родственных между собой и переходящих друг в друга. Это будут сухожильная и мышечная ткань. Разница между обеими последними по существу только в том, что сухожильная ткань не имеет регулировки длины, а мышечная ткань ее имеет.

Уже в первой лекции я рассказал вам о замечательном свойстве живого организма устранять костную ткань в тех местах, где она не подвергается прямому воздействию усилий. То же свойство обнаруживает организм и по отношению к другим видам тканей, причем всегда ткань более тонкого и сложного строения имеет склонность при первой возможности и при отсутствии спроса на ее специальные способности замещаться другой, менее высоко квалифицированной. В частности, мышечная ткань постоянно замещается сухожильной тканью, т.е. связками, в тех местах, где не встречается запросов на саморегулирование растяжки. Мы знаем, например, из медицинской практики, что происходит, когда какое-нибудь сочленение вследствие застарелого вывиха или иной болезни теряет свою подвижность. Неизбежно вслед за этим наступает вырождение мышц этого сочленения, превращение их в сухожильно-подобную ткань. Расположение мышц вокруг сочленения становится понятным только при том условии, если мы будем рассматривать связки этого сочленения и его мышцы вместе, в общей совокупности.

Древнейшие формы сочленений обладали еще очень неопределенной формой и многостепенной податливостью по всем направлениям. В связи с этим мышечная оболочка таких сочленений окружала их более или менее равномерно со всех сторон. Превращение отдельных частей этой мышечной оболочки в сухожилия и связки приходится считать вторичным преоб-

разованием, которое связано с более точным оформлением сочленений и получившимся при этом ограничением степени их подвижности.

Возьмите для начала рычаг, насаженный на ось с одной степенью подвижности. Такой рычаг может поворачиваться только в одной плоскости; для всех других направлений он закреплен устройством своего шарнира. Значит, ему требуются для равновесия растяжки только в таком количестве, которое необходимо для закрепления его и в этом последнем направлении. Сколько же тут требуется растяжек?

Слушатели. Одна? Две?

Лектор. Взгляните на рис. 27 и разберитесь в его положении. Если ограничиться одной только растяжкой, то она перетянет рычаг на свою сторону и ничто этому не сможет помешать. Очевидно, растяжек должно быть две, притом рассчитанных на прямо противоположный образ действий. С такими растяжками сочленение закреплено вполне.

Берем теперь двухосное сочленение (рис. 28). Сколько нужно растяжек при двух осях? Часто думают, что к двухосному сочленению потребны две пары растяжек противоположного действия, а к трехосному сочленению — три пары. Это, однако, не верно:

из рис. 28 ясно видно, что при двух степенях подвижности достаточно трех растяжек, притом расположенных как угодно, лишь бы они не приходились все три на одной стороне. Вы понимаете, что если расположить растяжки правильным треугольником (как это делается, например, в палатках с трех канатах), то, меняя подходящим образом длины этих трех растяжек, можно будет заставить осевой стержень принять любое положение из числа доступных ему по двум степеням подвижности. Точно так же можно бы доказать, что при трехосном сочленении наименьшее достаточное число растяжек есть четыре. Очевидно, в двух последних случаях ни одна мышечная растяжка не является по отношению к другой стойким противником — антагонистом. Наоборот, костный рычаг может быть уравновешен в любом доступном ему положении только при посредстве соответственного перераспределения длин всех его растяжек. При каждом движении в сочленении участвует не одна мышца подходящего направления волокон, как думали когда-то, и не две мышцы противоположного действия, как нередко думают сейчас, а вся толща мышц, стоящих в связи с данным сочленением. Каждое движение живой машины

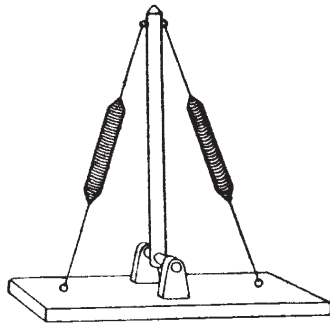


Рис. 27. Схема мышечных растяжек одноосного сочленения (мышцы-антагонисты)

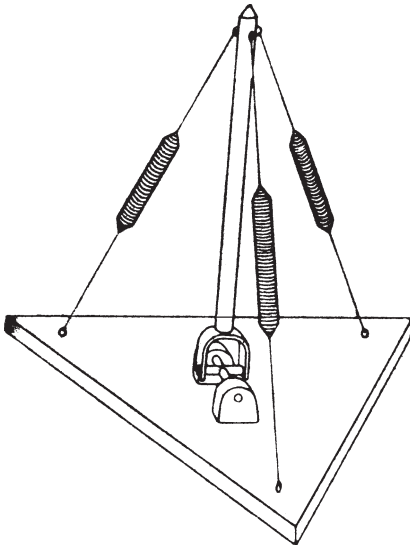


Рис. 28. Схема расположения мышечных растяжек при двухосном сочленении

есть результат перераспределения напряжений между всеми мышцами органа, производящего это движение. При этом нередки и такие случаи, когда разные части одной и той же мышцы одновременно обладают различными напряжениями, так что процесс перераспределения распространяется не только на отдельные мышцы, но и на их составные части.

Представьте себе, что сочленение, некогда подвижное во всех направлениях, постепенно потерпело ограничение в своей подвижности. У него выработался отчетливо сформированный аппарат сочленовных окончаний с закраинами, мешающими всесторонней подвижности. В связи с этим оно уже не может выполнять очень многих движений

из доступного ему раньше разнообразия. Вам теперь уже понятно, что мышцы, которые благодаря этому обрекаются на бездействие, не остаются мышцами, а превращаются в связки. Мы установили, что для сочленения с наибольшей трехстепенной подвижностью нужны всего четыре растяжки; этих четырех растяжек мы будем теперь искать уже во всяком сочленении, помня только, что мышечное строение сохранило из них лишь то количество, которое необходимо сочленению с данной подвижностью.

Иными словами, мы будем ожидать в одноступенном сочленении двух мышечных растяжек (противоположного действия) и двух связок; в двухступенном сочленении — трех мышц и одной связки; наконец, в трехступенном сочленении — четырех мышц и, может быть, ни одной связки. Во многих случаях мы найдем такое распределение и в действительности.

Вот теперь в наших руках есть достаточный ключ к тому, чтобы разобратся в монтаже мышц человеческой машины. Мы имеем возможность подойти к их распределению сознательно, с точными данными в руках. Само описание распределения и способа работы мышц человеческого тела послужит предметом следующей лекции, а сейчас я хочу научить вас, как определять назначение и направление действия мышцы на живом человеке.

Вы помните, что мышца напрягается тогда, когда есть налицо какая-нибудь растягивающая ее сила: ведь действие всегда равно противодей-

ствию. Если никакая посторонняя сила не мешает мышце совершить некоторое движение, то она преспокойно совершит его, сократится и никаким напряжением, вообще никаким наглядным признаком это на ней не отразится: она будет и во время своей работы такой же мягкой, как была и в покое. Этим путем мы ничего и не узнаем.

Значит, для того, чтобы мышца, предназначенная для данного движения, чем-нибудь себя выдала, надо добиться, чтобы она напряглась и стала твердой на ощупь. Для напряжения нужна противодействующая сила. Отсюда способ.

Пусть вам желательно определить, какая мышца совершает разгибание плеча. Вы предлагаете испытуемому производить разгибание плеча; но еще прежде, чем он начнет это движение, вы берете его за нижний конец плеча и изо всех сил препятствуете ему совершить это движение. Он старается разгибать плечо, а вы его не пускаете. Вот при этих условиях у него все мышцы останутся мягкими, кроме только тех, которые в обычных условиях производят разгибание плеча. Если вы одной рукой будете удерживать его руку, а другой легонько пальцами пощупаете сквозь кожу разные мышцы и мышечные пучки в окрестностях плеча, то вы сразу поймете те из них, которые замешаны в данное движение. Это есть единственный правильный прием, которым я рекомендую вам пользоваться во всех случаях.

Сделаем пробу. Я попрошу сюда на авансцену трех товарищей. Один будет у нас испытуемым, двое — обследователями.

Вот займитесь-ка определением того, какая мышца участвует в разгибании плеча. Сначала проделайте это движение: не забыли ли вы, что называется разгибанием плеча? Верно, это будет поднятие плеча вперед и наружу. Теперь поставьте опыт так, как я сейчас объяснил. Удерживайте его руку, сильнее, изо всех сил; а он пусть изо всех сил старается разогнуть плечо. Прощупайте его плечевую область. Где вы находите напряжение?

Слушатели. Вот здесь, спереди на плече.

Лектор. Возьмите мелок. Пусть один из вас по-прежнему удерживает руку испытуемого, а другой прощупывает осторожно границы напряжения мышц и обрисует их мелком по коже. Что получилось? Вы видите, что в результате испытания определилась мышца, сидящая на наружной и передней стороне плечевой области, как эполет. Эта мышца называется дельтовидной мышцей; а теперь вы уже знаете и то, как эта мышца действует. Вы можете быть уверенными после проделанного опыта, что разгибание незагруженного плеча производит именно она (рис. 29, Б). Сделаем еще опыт. Я прошу испытуемого поднять плечо на 45°. прямо в сторону. Нет, вы не то делаете: вы поднимаете надплечье, а ведь плечом называется отрезок руки от плечевого сочленения до локтевого. Теперь правильно. Помните ли вы, как сделать приведение

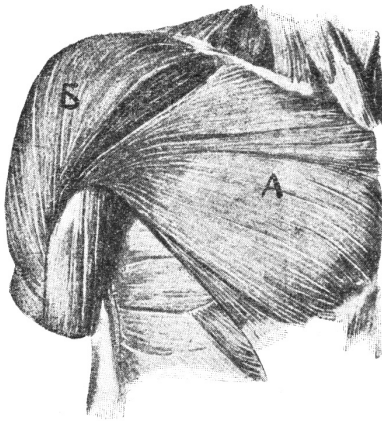


Рис. 29. Мышцы правой плечевой области, спереди. А – большая грудная мышца, Б – дельтовидная мышца (по Шпальтегольцу)

плеча? (Испытуемый опускает руку обратно). Нет, то движение, которое вы сейчас сделали, придется просто назвать опусканием плеча. Приведение – это есть поворот плеча вокруг вертикальной оси. Поставьте плечо в прежнее положение на 45° в сторону. Теперь сделайте им оборот вперед, все время оставляя локоть на одной и той же высоте, ведите его по горизонтальному кругу. Вот так. Это и есть приведение плеча. Теперь пожалуйста сюда, обследующие: определите, какие мышцы управляют этим движением. Не теряйтесь же. Как здесь надо поступить?

Обследующие. Удерживать руку?

Лектор. Именно; как же вы ее

будете удерживать? Верно, не давайте ему приводить плечо. Погодите-ка ощупывать; поверните испытуемого лицом прямо к аудитории и устройте так: пусть он по очереди то пытается с силой приводить плечо, то снова расслабляет руку в прежнем исходном положении. Спросим аудиторию: не скажет ли она уже без ощупывания что-нибудь о том, какая мышца заинтересована в приведении плеча?

Слушатели. У него напрягается подмышкой.

Лектор. Только ли подмышкой; всмотритесь внимательнее.

Слушатели. Еще на груди.

Обследующий. У него напрягается валик впереди от подмышечной ямы и потом еще вся передняя часть груди.

Лектор. Я сейчас покажу вам рисунок, изображающий мышцы плечевой области и грудной клетки спереди. Узнаете ли вы на нем ту мышцу, которую вы сейчас уличили в приведении плеча (рис. 29)?

Обследователи. Вот эта. (Указывают на мышцу, отмеченную на рис. 29 буквой А).

Лектор. Опять-таки вы верно нашли требуемую мышцу. Эта веерообразная мощная мышца носит название большой грудной; со способами ее действия, которые очень разнообразны, и с местами ее прикрепления мы познакомимся в следующий раз. Теперь вы вооружены способом, который поможет вам ориентироваться в действии любой поверхностно лежащей мышцы. В свободное время поупражняйтесь в нем.

Лекция 5

Товарищи! Приступаем к разбору мышечного и связочного оборудования человеческой машины. Я менее всего собираюсь затруднять вас описаниями отдельных мышц. Ведь уже в прошлый раз мы выяснили, насколько не сходится двигательная и статическая роль мускулатуры с анатомическим разделением ее на отдельные мышцы. То, что анатомы называют отдельными самостоятельными мышцами, выделено ими нередко из общей мышечной толщи на основании таких случайных признаков, как несколько более плотный соединительно-тканый чехол, одевающий эту часть. А снимая с себя обязательство говорить об анатомических подробностях, мы сильно упрощаем нашу задачу и уменьшаем время, потребное для рассказа. Начнем с туловища.

Я уже говорил, что позвоночник четвероногого в структурном отношении представляет собою мост, перекинутый между двумя быками — передними и задними конечностями. Взгляните на рис. 30. Позвоночник между обеими точками опоры представляет собою арку, обращенную выпуклостью, как это и полагается, кверху. Если бы от позвоночника требовалась только жесткость, то уже этого изгиба могло бы быть достаточно для его укрепления. Но природа поставила позвоночнику более сложное строительное требование; требование, надо сказать, неразрешенное еще строительным искусством человека. Именно: сохраняя свою прочность, не подгибаясь и не проваливаясь, позвоночник должен в то же время быть гибким сооружением, иметь возможность различным образом менять свою форму. Выход из этого положения природа нашла такой.

Принцип устройства позвоночника тоже, с каким мы уже встречались в этом курсе не один раз — природа скупа на выдумки. Жесткий стержень позвоночника снабжен с четырех сторон четырьмя растяжками (рис. 30), которые тянутся параллельно с ним во всю его длину: снизу, сверху и с обоих боков. Растяжки эти имеют разное устройство. Вы понимаете, что постоянный запрос на сопротивление растяжению предъявляется к нижней растяжке: она работает все время, пока животное стоит. В связи с этим нижняя растяжка сухожильная, устроена она в виде плоской ленты, пришитой к телам всех позвонков с брюшной (т.е. с нижней) стороны. Остальные три растяжки, которые то работают, то нет, во всяком случае

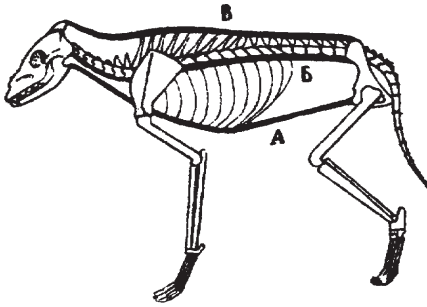


Рис. 30. Схема туловищных мышечных растяжек четвероногого млекопитающего. А – брюшная растяжка; Б – сухожильная растяжка позвоночника; В – спинная растяжка

поразному в разных случаях, имеют мышечное строение. И задняя (спинная) растяжка, и обе боковых лежат в виде двух толстых жгутов по обе стороны позвоночника. Это есть то самое «мясо», которое известно на кухне под именем отбивных котлет. Вся масса мышечных волокон этих растяжек идет продольно; по большей части волокна здесь коротки, тянутся между соседними или близко лежащими позвонками. Они сращивают между собой не только все позвонки шейные, грудные, поясничные и

крестцовые, но захватывают и все кости, какие подвернутся по соседству: затылочную часть черепа, задние концы ребер и тазовые кости. Посмотрите еще раз на рис. 30; вы видите, что позвоночник четвероногого имеет по своей длине три разных изгиба. В грудной части он обращен выпуклостью вверх, а в шейной и поясничной – вогнутостью вверх. Подумайте, где нужны более прочные растяжки, в особенности верхние? Ведь в грудной части позвоночник похож на арку; значит, прочность в сильной степени достигается уже его формой. Не то в шейной и поясничной частях. Действительно, в этих частях продольные мышцы спины толще, солиднее, чем в грудной части.

У человека с вертикально расположенным позвоночником распределение усилий другое. Вы помните, что мы говорили в прошлой лекции про момент силы. Чем плечо рычага меньше, тем сила должна быть больше, чтобы имело место равновесие. Силой в данном случае будет опрокидывающее усилие тяжести, которое стремится уронить позвоночник. При данном значении момента этого усилия силы, которыми он себя проявляет, будут тем больше, чем ближе к нижнему концу позвоночника. Значит, в нижней его части продольные мышцы у человека должны быть толще, чем в верхней. Понятно ли?

Слушатели. Не совсем.

Лектор. Сообразите: верхним отделам этих мышц, например, шейному, приходится преодолевать груз одной только головы, которая весит $4\frac{1}{4}$ килограмм, и плечо рычага здесь составит от середины шейного отдела до центра тяжести головы, сантиметров 15. Поясничному же отделу при-

ходится сопротивляться действию тяжести туловища с головой и руками, что весит 38 кг., и плечо рычага здесь сантиметров 35-40. Значит, для поясничных мышц груз в девять раз больше и плечо рычага втрое. Следовательно, момент здесь в двадцать семь раз больше, чем для шейных мышц. Теперь ясно? Ну вот.

Теперь арка позвоночника нами оборудована. Можно перейти к тому, как этот позвоночник нагружен. Загрузку позвоночника представляет собою туловище. У четвероногого обе пары конечностей служат как подпорки и в счет не идут; на позвоночнике висит только само туловище, представляющее собою полый футляр или чемодан для внутренних органов. Все мышцы, кости и связки туловища (кроме немногих мышц внутренностей, о которых мы здесь не говорим) представляют собою только оборудование стенок этого чемодана. А устройство этих стенок совершенно такое же, как у многих чемоданов искусственных.

Эти стенки обтянуты в три слоя плоскими мышцами с разными направлениями волокон. В двух наружных слоях волокна идут наискось крест накрест друг к другу. В третьем, самом глубоком слое, они идут горизонтально, поперечно. Благодаря такому перекрестному ходу получается особенная крепость и эластичность стенки во всех направлениях. Если хотите, по тому же принципу перекрестных слоев устраиваются фанерные листы; вам известно, какой выигрыш в прочности достигается этим. В брюшной части мышечные пласты идут сплошь; в грудной сквозь них пропущены еще ребра, которые ровно ничего не меняют ни в расположении, ни в образе действия слоев. У биомехаников есть плохая привычка сравнивать все, что можно, с искусственными сооружениями. Следуя этой привычке, я не могу и здесь не сравнить ребра с китовым усом в корсете.

Сколько-нибудь подробнее описывать мышцы туловищной стенки я здесь не могу; интересующимся предложу заглянуть в анатомический атлас.

На таком несложном сооружении, как туловище, смонтированы гораздо более мудреные машины поясов конечностей. И эти последние можно осмыслить только, если начать с четвероногих млекопитающих. Мы уже говорили, что плечевой пояс устроен по типу висячего моста. Укрепление его к туловищу состоит у четвероногих из широкого мышечного полотнища, на которое грудная клетка положена так, как кладут на лямки обучающихся плавать. Это полотнище охватывает, следовательно, всю грудную клетку с нижней стороны; а наверху прирастает к верхним обрезам лопаток, проходит еще выше и, наконец, сходится обеими концами у позвоночного столба. У человека, как вы понимаете, отношения переменялись. У него уже не передние конечности несут туловище, а, наоборот, туловище несет передние конечности. Это обозначает разгрузку плечевого пояса

более, чем в три раза. Кроме того, при вертикальном туловище тот мышечный бандаж, который я сейчас описал, лежит уже горизонтально, а не вертикально, как раньше, и служит уже в качестве подвеса туловища только побочным образом. В связи со всем этим он ослабел, стал меньше, а за счет его усилились соответственно другие части. Вид этого мышечного бандажа у человека спереди изображен на рисунке 31, а его задняя половина, та, что соединяет лопатку с позвоночником, была упомянута нами в четвертой лекции.

Итак, у человека вторично развились новые растяжки, пригодные для подвеса лопатки и плечевого пояса при новой вертикальной стойке. Эти новые подвески удерживают лопатку сверху и снизу, укрепляя ее в этих направлениях к позвоночному столбу. Вид этих подвесок, носящих название трапециевидной мышцы, приведен на рис. 32.

Итак, человеческая лопатка снабжена в общей сложности четырьмя мышцами, идущими от нее во всех четырех направлениях к туловищной стенке. Я уже говорил, что четыре растяжки могут обеспечить три степени подвижности; а эти три степени лопатка как раз и имеет. Она может совершать движения вверх и вниз, в обе стороны, и, кроме того, еще вращаться. Из предыдущих объяснений понятно, что движения лопатки в стороны (приведение и отведение) могут совершаться с помощью обеих половинок мышечного бандажа, служившего передней подвеской у четвероногих. Ее же движения вверх и вниз производятся частями новой под-

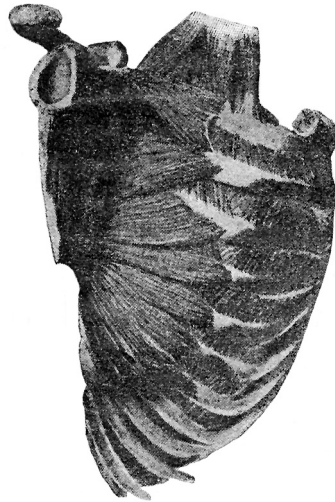


Рис. 31. Передняя часть мышечного бандажа, укрепляющего лопатку к туловищу – передняя зубчатая мышца (по Шпальтегольцу)

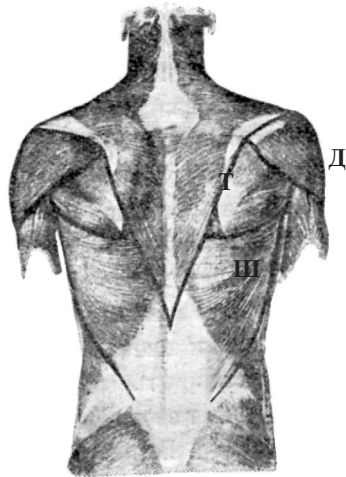


Рис. 32. Мышцы спины. Т – трапециевидная мышца, Ш – широкая мышца спины (см. рис. 35), Д – дельтовидная мышца (по Шпальтегольцу)

вески – трапециевидной мышцы. При этом верхняя, поднимающая часть трапециевидной мышцы сильнее и больше, чем нижняя. Это и немудрено: ей приходится ведь постоянно преодолевать силу тяжести рук.

Как же обстоит дело с вращением лопатки? Здесь лопаточным мышцам приходится сокращаться порциями, частями. Для поворота лопатки наружу пускаются в ход нижняя порция спинной половины и верхняя порция брюшной половины поперечной растяжки. Для поворота лопатки внутрь есть целых два мышечных механизма. Во-первых, та же самая поперечная растяжка может дать поворот и внутрь, если только в ней сократится верхняя порция спинной половины и нижняя порция брюшной. Но, кроме того, тот же эффект может дать и трапециевидная мышца. Посмотрите, как она устроена (рис. 32). Своим туловищным концом она прикреплена ко всем шейным и грудным позвонкам, да еще к нескольким поясничным. Со всего этого громадного протяжения она собирается веером к лопатке, где прикрепляется к большому костному рычагу, далеко выступающему из лопаточной пластины. Но к этому рычагу волокна трапециевидной мышцы прикрепляются не в одной точке. Наоборот, самые верхние волокна, идущие из-под затылка, отходят всего более в наружную сторону и прикрепляются на упомянутом рычаге лопатки на самом наружном конце, иногда заходя даже за ключицу. Нижние волокна той же мышцы, напротив того, поднимаются почти вертикально вверх и кончаются на лопатке у самого внутреннего конца того же рычага. Вообразите себе, что верхняя и нижняя порции трапециевидной мышцы напряглись одновременно. Ясно, что такое напряжение должно будет повести опять-таки к повороту лопатки внутрь.

Чем объяснить, что для поворота внутрь имеется в два раза более мощный мышечный аппарат, чем для поворота наружу? Помня только о лопатке, вы этого не объясните. Я воспользуюсь случаем, чтобы проверить, что вы усвоили относительно совместных движений лопатки и плеча. Вообразите, что плечо закреплено неподвижно в плечевом сочленении с помощью мышц этого сочленения. Что произойдет с плечом, если вы при этом начнете совершать поворот лопатки внутрь? Это вас затрудняет? Скажу иначе. Постарайтесь сообразить, какому именно из движений плеча помогает поворот лопатки внутрь? Можно сказать и еще иначе. Вы помните, что движения лопатки могут увеличивать границы подвижности плеча. Так вот, при каком же движении плеча нужно пустить в ход поворот лопатки внутрь, чтобы расширить границы подвижности в этом направлении?

Слушатели. При разгибании плеча.

Лектор. Верно. А следовательно, чем сопровождается со стороны лопатки противоположное движение – сгибание плеча?

Слушатели. Вращением в другую сторону.

Лектор. Да, т.е. вращением наружу. Теперь скажите, на что нужно затратить больше силы: на разгибание или на сгибание плеча?

Слушатели. На разгибание.

Лектор. Почему?

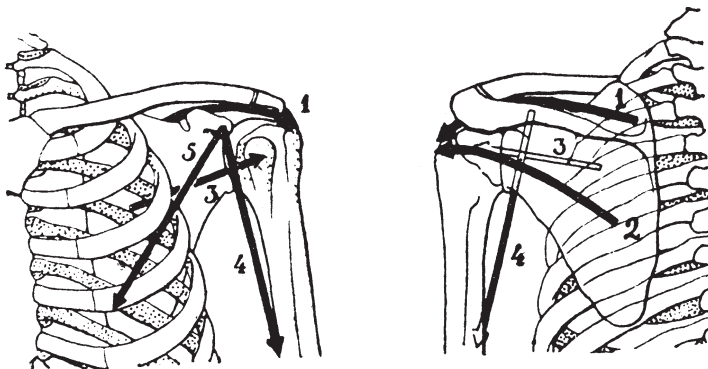
Слушатели. Потому что при разгибании подъем.

Лектор. Вот поэтому-то вращение лопатки внутрь требует более сильного аппарата мышц, чем вращение ее наружу. В сущности, весь подвес плечевого пояса человека этим исчерпан; но далеко не исчерпаны еще все мышцы этого пояса. Причина этого заключается в следующем.

Когда начинается развитие мышц конечностей, то эти мышцы возникают сначала своими нижними концами, т.е. на конечностях, и уже оттуда тянутся по направлению к поясам и туловищу. При этом одни из таких мышц доползают только до костей поясов в нашем случае – до лопатки, – другие же проходят без остановки мимо лопатки и прикрепляются уже прямо на туловище. Происходит нечто подобное с тем, как устроены дачные поезда на многих железных дорогах: одни обслуживают только близкие станции, другие – только далекие. Так вот безостановочные поезда для дальних станций, т.е. мышцы прямого сообщения «плечо – туловище», перемешиваются с только что описанными мышцами подвеса и осложняют собою их внешнюю картину, а отчасти и их механическое поведение.

Нам будет удобнее начать с коротких мышц плечевого сочленения. Этих мышц имеется вокруг сочленения пять; но механически правильнее одну из этих пяти, именно дельтовидную, рассматривать совместно с мышцами длинной группы. Оставшиеся четыре будут следующие (рис. 33).

Все они соединяют плечо с лопаткой. При этом они попарно подходят к нему с двух сторон. На наружной стороне плечевой кости у самого конца имеется небольшой костный выступ, называемый большим бугром плеча. На переднем краю плеча, тоже у самой верхушки, лежит еще другой бугорок – малый бугор плеча. Две из упомянутых сейчас мышц как раз идут к большому бугру: одна сверху, другая сзади. На рис. 33 эти мышцы обозначены №№ 1 и 2. Та, что подходит к бугру сверху, начинается на лопатке, над тем костным рычагом, о котором я говорил при описании трапециевидной мышцы. Вторая начинается со всей лопаточной пластины под тем же рычагом. Если вы взгляните в их расположение, то поймете, что верхняя из этих двух мышц может работать как разгибатель плеча, а нижняя – как его сгибатель. Кроме того, нижняя мышца, которая охватывает плечевую кость сзади, годится еще и для вращения плеча вокруг его продольной оси наружу.



*Рис. 33. Направление мышечных тяг короткой группы плеча.
1 – надостная мышца, 2 – подостная мышца, 3 – подлопаточная мышца,
4 – клювовидно-плечевая мышца, 5 – малая грудная мышца*

Третья мышца этой группы начинается тоже от всей лопаточной пластины, на этот раз от ее внутренней поверхности, той поверхности, которая прилегает к ребрам. Она идет уже к малому бугру плеча и огибает плечо с передней стороны. Значит, она может производить вращение плеча внутрь, и кроме того, сокращаясь вместе со второй из описанных сейчас мышц, производит сгибание плеча (рис. 33, № 3).

Наконец, четвертая мышца этой группы начинается от маленького крючка лопатки около самого плеча, направляется вниз вдоль плеча и прирастает к его внутреннему краю. Эта мышца есть явная приводящая мышца плеча. Вы можете спросить: отчего же в плечевом сочленении имеется целых две мышечные группы, длинная и короткая, и как распределяются обязанности между обеими группами?

Может быть, лучше всего ответит нам на этот вопрос опыт. Организуем его, как в прошлый раз: с одним испытуемым и с двумя обследователями. В тот раз мы не занимались мышцами ручной кисти, посмотрим-ка их теперь. Пусть испытуемый сжимает пальцы в кулак, а кто-нибудь из обследующих, знакомым вам порядком, мешает этому движению. Другого обследователя я попрошу поискать, какие мышцы участвуют в сжимании кулака. Помните, как это надо делать? Да, конечно, надо ощупать мышцы. Так и поступите.

(Испытуемый сжимает кулак; его пальцы удерживает другой; третий ощупывает предплечье, плечо и плечевую область, затем указывает на переднюю сторону плеча и говорит: напряжено вот здесь).

Лектор. А еще где напряжено?

Обследователь. А еще здесь, выше.

Лектор. Значит, по вашему получается, что мышцы пальцев находятся в плечевой области?

Обследователь. Так выходит.

Лектор. Попробуйте еще предплечье.

Обследователь. Тут тоже напряжено.

Лектор. Что же это значит? Получается, что мышцы всей руки напрягаются для сжатия пальцев в кулак? Немножко дальше вы убедитесь, что настоящие сгибатели пальцев находятся на предплечьи, там, где вы их прощупали. В каком же смысле участвуют здесь остальные вышележащие мышцы? Видоизменим нашу пробу. Установим испытуемого, как и раньше, пусть он опять тшкетно пытается сжать кулак, а вы в это время обследуйте область плечевого сочленения со всех сторон, и спереди, и сзади, и сверху.

Обследователь. Везде напряжение; тут, впрочем, немножко меньше, а здесь больше.

Лектор. Примем к сведению пока только два каких-нибудь противоположных направления: например, переднюю и заднюю сторону сочленения. Как вы думаете, могут ли мышцы, лежащие на этих противоположных сторонах, работать согласно или они суть антагонисты, напряжение которых ведет к прямо противоположным последствиям?

Слушатели. Наверное, они работают наоборот.

Лектор. В этом все и дело; что же может получиться при их совместном действии, кроме подвижности? Они могут только тормозить друг друга. Значит, вы имеете перед собой новый способ работы мышц, не такой, как вы обследовали раньше. Теперь, как вы думаете, для чего может понадобиться такое одновременное напряжение прямо противоположных мышц?

Слушатели. Для закрепления сустава.

Лектор. Вот именно. Теперь, может быть, вы разберетесь и в том, почему мы нашли напряженные мышцы в плечевой области при движении пальцев. Вся суть в ошибочной постановке нашего опыта. Если обследующий старается разжать кулак испытуемого, то он с силой тянет его пальцы, а за пальцами тянется и вся рука. Чтобы не дать сдвинуться всей руке, пальцевые мышцы ничего предпринять не могут; приходится пускать в дело мышцы плеча и плечевого пояса. Следовательно, кисть может отдыхать, когда работает плечо; но плечу приходится работать тогда, когда работает кисть.

Этого мало. Вернемся опять к подсчету моментов. Попросим испытуемого протянуть вперед руку, а я положу на его ладонь вот эту гирию в один килограмм. Есть ли у кого из вас сантиметр? Измерим расстояние от нашего груза до центров всех сочленений руки. Смотрите: от центра груза

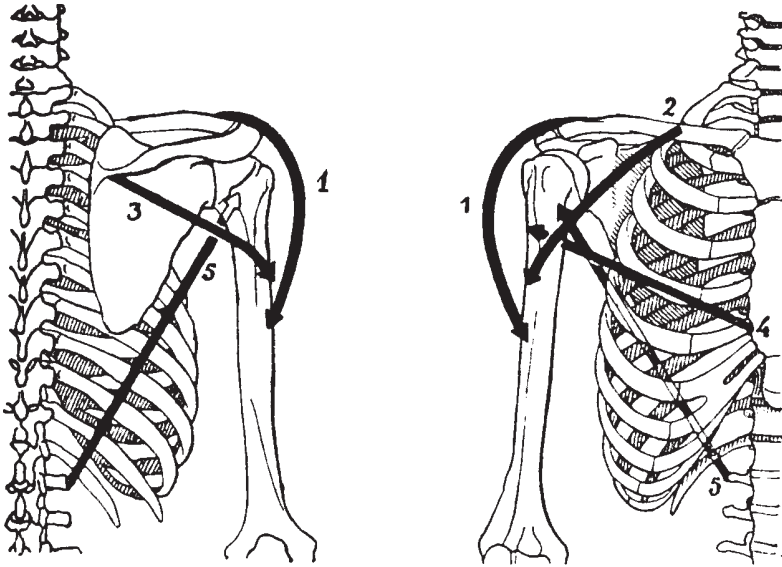
до лучезапястного сочленения 9 сантиметров; оттуда же до локтевого сочленения 34 сантиметра; наконец, до плечевого сочленения 65 сантиметров. Значит, момент нашего груза относительно локтя почти вчетверо больше, чем относительно запястья; а по отношению к плечу он в семь раз больше. Итак, если бы даже рука сама ничего не весила, а весил бы только груз, то и в этом случае нагрузка у плеча была бы в семь раз больше, чем у кисти. Мышцы плеча не только загружаются при работе кисти, но загружаются в несколько раз сильнее, чем сами мышцы кисти.

Вот этим-то и объясняется, что плечу приходится иметь усиленное, двойное мышечное оборудование. Оно работает не только за себя, но за всю руку, и в этом последнем случае требует даже больше силы, чем в первом. Поэтому мышцам плеча приходится выполнять обязанности двух родов. Во-первых, они перемещают, поворачивают плечо во всевозможных направлениях, а во-вторых, они закрепляют, как говорят, фиксируют плечо в каждом требуемом направлении. В очень многих случаях эту вторую обязанность фиксации выполняют мышцы длинной, еще пока не описанной группы. Мышцы короткой группы, более слабые, но более юркие, обыкновенно достаточны для поворотов и перестановок плеча. Может быть, переход длинных мышц с костей плечевого пояса на туловище и объясняется необходимостью получить более прочную и более широкую площадь опоры.

Теперь можно перейти к рассмотрению длинной группы мышц плеча. Она включает в себя по анатомическим понятиям три мышцы, а с биомеханической точки зрения, по крайней мере, пять. Это происходит потому, что дельтовидная мышца очень широка, охватывает плечевую область с трех сторон, и крайние пуски ее обладают совершенно различным, почти противоположным действием. На рис. 34 она изображена в виде целых трех стрелок: 1, 2 и 3.

Может быть, не стоит и описывать, как действуют эти три отдельные пучка. Из внимательного рассмотрения рисунка действие это вырисовывается очень ясно. К тому же дельтовидная мышца лежит очень поверхностно, и ее напряжения вы легко можете проверить на самих себе. Очевидно, пучок № 1 есть настоящий разгибатель плеча (в этом он сходится с пучком № 1 короткой группы). Пучки №№ 2 и 3 длинной группы при совместной работе действуют как сгибатель, а, работая порознь, могут совершать приведение и отведение, а также ротацию плеча.

О пучках 4 и 5 нужно сказать несколько больше. И тот, и другой изображены на рисунке просто стрелками. Но это совершенно условно. В действительности и тот, и другой — это очень большие и широкие мышцы. Обе находятся на туловище на очень широкой поверхности, а затем



*Рис. 34. Направление мышечных тяг длинной группы мышц плеча.
1, 2 и 3 – отдельные пучки дельтовидной мышцы, 4 – большая грудная мышца,
5 – широкая мышца спины*

собираются веером к одному небольшому сухожилию и в таком виде срастаются с плечевой костью. Пучок № 4 начинается на всей передней поверхности грудной клетки. Это – большая грудная мышца, которая очень хорошо видна у мускулистых людей. Если вы помните, в прошлый раз мы доказали, что эта мышца заведует приведением плеча. Если вы попытаете проделать наш обычный опыт над приведением плеча, то эта мышца, а вместе с тем и ее сухожилие, напрягутся и будут хорошо видны под кожей. Как видите, большая грудная мышца образует переднюю стенку подмышечной впадины.

Пятый пучок той же группы есть самая широкая из всех мышц тела. Она изображена отдельно на рис. 35. Там видно, что она начинается очень низко, от тазовых костей и крестца, а также от поясничных позвонков. Все это огромное полотнище огибает спину в направлении снизу вверх и очень узким сухожилием кончается под малым бугром плеча (т.е. впереди). Из названного сейчас рисунка легко понять, как должна действовать эта мышца.

Надо прибавить еще вот что. Все мышцы длинной группы должны бы отличаться от коротких мышц тем свойством, что они оканчиваются на костях туловища, минуя лопатку и ключицу. Между тем, для дельтовидной мышцы

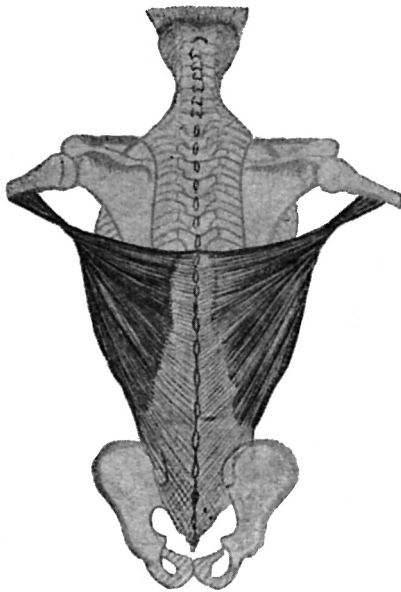


Рис. 35. Положение широких мышц спины обеих сторон и способ их прикрепления к плечевым костям. Все прочие спинные мышцы для ясности удалены (по Моллиеру)

это не соблюдается; и вы помните, что в начале лекции я и причислял ее анатомически к коротким мышцам. На самом деле приходится понимать дело так, что эта мышца делает только перерыв, остановку на лопатке и ключице; продолжение ее кверху есть не что иное, как верхняя часть трапециевидной мышцы, тянущейся уже до позвонков.

После такого длинного рассказа о мышцах плечевого сочленения описание локтевых мышц покажется пустым делом. Ведь мышц тем более, чем подвижнее сочленение; а локтевое сочленение относится к самым простым, одноосным. По теории мы ожидаем встретить здесь две мышцы и две сухожильных связки. Мышцы должны находиться по обеим сторонам от оси, а сухожильные связки — на концах оси.

Так и происходит. Локтевое сочленение (т.е. сочленение плечевой и локтевой кости) имеет одного сгибателя и одного разгибателя. Сгибатель построен совсем просто: он начинается примерно от середины плеча, а оканчивается на самом верхнем конце локтевой кости, на том выступе, который представляет собою в то же время переднюю закраину ее сочленовной впадины. Разгибатель локтя построен несколько сложнее.

Прикрепляется он к локтевой кости совершенно симметрично со сгибателем, на таком же выступе, как и первый. Только этот выступ гораздо легче ощупать, так как он находится на выпуклой стороне локтя. Это есть острие локтя. Нижний конец локтевого разгибателя вздувается под пальцами, приложенными в этом месте, когда вы пробуете разгибать локоть, но удерживаете руку.

Верхний конец разгибателя разделен на целых три головки, из которых только одна оканчивается на плече; остальные две тянутся до лопатки, значит, перекидываются через целых два сочленения. Разгибатель локтя (трехглавый разгибатель) есть единственная мышца на задней стороне

плеча; в локте он совершает разгибание, а в плечевом сочленении может помочь сгибанию плеча.

Тем бы дело и кончилось, если бы рядом с локтевой костью не лежала еще лучевая. Для сгибания этой кости имеется своя особая мышца. Эта мышца почему-то, может быть, по своему поверхностному положению, лучше всех остальных знакома широкой публике. Называется она бицепс или двуглавая мышца плеча.

Между тем, по своему образу действий бицепс есть одна из самых мудреных мышц. Начать с того, что она нигде не связана ни с плечевой, ни с локтевой костью. Начинается она на лопатке и тянется оттуда прямым маршрутом к лучевой кости. Следовательно, она переходит через целых три сочленения (плечевое, плечелоктевое и локтелучевое) и во всех этих сочленениях может вызывать движения. Представьте себе цепочку из четырех члеников, причем между концами двух крайних натянута резинка. Условия взаимной подвижности члеников совершенно различны. Можете ли вы что-нибудь определенное предсказать о том, как будет эта резинка, сокращаясь, менять форму цепочки? Очевидно, этого сделать нельзя. Какую-нибудь определенность здесь можно получить, только если закрепить чем-нибудь другим два сочленения цепочки из трех. Притом определенность будет каждый раз разная – в зависимости от того, которые два сочленения из трех мы закрепим.

Так и происходит с бицепсом. Эта мышца без содействия других, фиксирующих для нее лишние сочленения, совершенно бесполезна. Описать ее действие в изолированном виде никак невозможно. Можно сказать только, что она будет делать, если закрепить два сочленения из тех трех, через которые она проходит, и оставить свободным только третье.

В плечевом сочленении бицепс помогает разгибанию и отчасти приведению. В локтевом он действует как сгибатель. Наконец, в локтелучевом он представляет собою очень сильный супинатор. Недаром винты и шурупы устроены так, что их ввинчивание, требующее большой силы, совершается при помощи супинации (так наз. правая нарезка). Механизм этого последнего движения таков: нижний конец бицепса прикреплен к лучу длинным сухожилием, похожим на тесемку. При движении – пронации – это сухожилие наматывается на лучевую кость как на вал. Для совершения супинации она с силой раскручивает обратно лучевую кость как намотанная бечевка раскручивает волчок.

Очевидно, сила мышцы тем больше, чем больше ее момент относительно данного сочленения. А момент тем больше, чем больше плечо рычага, т.е. расстояние от точки приложения силы до центра сочленения. Двуглавая мышца проходит всего дальше от центра локтевого сочленения,

значит, в роли сгибателя локтя мышца эта сильнее всего. Для разгибания плеча и супинации предплечья она в четыре-пять раз слабее.

Кроме описанных трех мышц, в локтевом сочленении имеются, как уже сказано, две сухожильных растяжки, лежащих по обе стороны от сочленения. Эти растяжки скрепляют сочлененные кости на концах оси сочленения, а кроме того, тянутся вдоль всей плечевой кости наподобие перегородок между сгибателями и разгибателем. На этом примере особенно четко видно, как первоначальный сплошной мышечный рукав выродился в сухожилие там, где ему невозможно было сокращаться.

На предплечьи можно было бы опасаться новой сложной системы мышц, сообразно тем трем степеням подвижности, которые кисть имеет относительно локтевой кости. Но не пугайтесь: другого «плечевого сочленения» в человеческой машине нет, и самое трудное все равно осталось позади. На предплечьи мышцы схематизируются очень просто.

Во-первых, на нем лежат три коротенькие мышцы для пронации и супинации. Пронаторов — два, супинаторов — один. Это естественно, так как супинация могущественно помогает бицепс. Остальных мышц, управляющих лучезапястным сочленением — всего четыре, и лежат они очень просто.

Запомните только вот что. На нижнем конце плечевой кости по обеим сторонам локтевого сочленения есть два костных выступа. Называются они мышцелками: наружный и внутренний мышцелок. Запомнить вам надо вот что: все сгибатели нижнего отдела руки начинаются со стороны внутреннего мышцелка; все разгибатели — со стороны наружного мышцелка.

В свою очередь, у кисти руки приходится различать лучевой и локтевой край. Лучевой край, как и лучевая кость, находится со стороны большого пальца, локтевой край и локтевая кость — со стороны мизинца. Так вот четыре мышцы, движущие кистью, можно разделить попарно двумя способами. Во-первых, две из них суть сгибатели кисти и начинаются от внутреннего мышцелка, а две — разгибатели — от наружного. Во-вторых, две из этих мышц тянутся к лучевому краю кисти, а две — к локтевому краю.

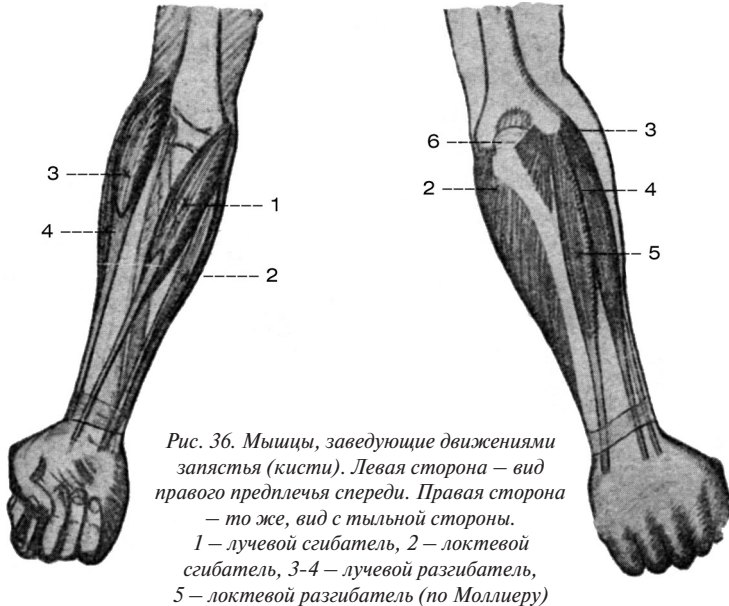
Итак, четверка будет такая: (обозначения на рис. 36):

локтевой сгибатель кисти	2
лучевой сгибатель кисти	1
локтевой разгибатель кисти	5
лучевой разгибатель кисти	3, 4

Все это изображено схематически на рис. 36. Теперь сообразите, что произойдет, если сократятся оба сгибателя, т.е. №№ 2 и 1?

Слушатели. Будет сгибание кисти.

Лектор. Если сократятся оба разгибателя, т.е. №№ 5 и 3-4?



*Рис. 36. Мышцы, заведующие движениями запястья (кисти). Левая сторона – вид правого предплечья спереди. Правая сторона – то же, вид с тыльной стороны.
1 – лучевой сгибатель, 2 – локтевой сгибатель, 3-4 – лучевой разгибатель, 5 – локтевой разгибатель (по Моллиеру)*

Слушатели. Разгибание кисти.

Лектор. Это понятно. Теперь – если сократятся обе локтевые мышцы, т.е. №№ 2 и 5, а обе лучевые 1 и 3-4 растянутся? Вас затрудняет вопрос? Ну, что будет, если локтевой край кисти будет подтягиваться к предплечью, а лучевой край будет, наоборот, отходить от предплечья? Вы показываете совершенно верно; как же называется это движение?

Слушатели. Приведение кисти?

Лектор. Хорошо, следовательно, если те же мышцы будут сокращаться обратным порядком, то получится отведение кисти. Понятно это?

Слушатели. Понятно.

Лектор. Итак, лучезапястное сочленение обслужено нашими четырьмя мышцами полностью. Остается показать вам, где в действительности лежат эти мышцы и их сухожилия. Вы все знаете, что предплечье суживается к нижнему концу: это оттого, что на нижнем конце предплечья вообще нет никаких мышц, одни только тоненькие сухожилия. Вот сухожилия обоих разгибателей кисти можно легко увидеть у основания кисти, если препятствовать испытываемому разгибать ее. Они выступают тогда как два крепких шнурка, по бокам кисти. То же относится к обоим сгибателям. Брюшки всех этих мышц расположены наискось, потому что начинаются они близ мыщелков плечевой кости, лежащих по бокам. У человека с раз-

витой мускулатурой они видны даже просто глазом, если проделать наш обычный опыт с задерживанием движения конечности.

Самое интересное и, может быть, многим из вас неизвестное обстоятельство — это то, что почти все мышцы пальцев тоже лежат на предплечьи, в его верхнем конце. Это имеет большую практическую выгоду. На кисти остаются только одни орудия — пальцы; двигатели помещены в отдалении и благодаря этому не мешают подвижности кисти и не задерживают ее. И здесь мышечные брюшки начинаются уже близ середины предплечья, а дальше вниз до пальцев тянутся длинные сухожильные шнуры как передаточные ремни. Большой палец обслуживается особо, и о его мышцах лучше говорить в отдельности; остальные четыре пальца имеют тесно связанные между собой мышцы.

Все мышцы четырех длинных пальцев состоят из двух сгибателей и одного разгибателя (рис. 37). Начинаются они на предплечьи и отчасти на нижнем конце плеча в компании со сгибателями и разгибателями кисти на соответствующих мышечках. Сухожилия разгибателя тянутся по тыльной стороне кисти до самых пальцев. Каждый видел их у себя много

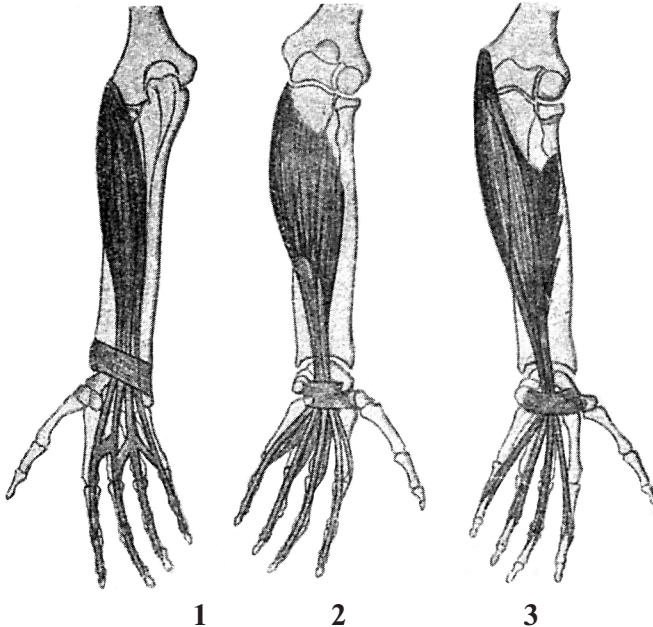


Рис. 37. Мышцы, управляющие движением пальцев. 1 — разгибатель пальцев, 2 — глубокий сгибатель, 3 — поверхностный сгибатель (по Моллиеру)

раз. Сухожилия сгибателей идут сложнее. Дело в том, что один сгибатель лежит на предплечьи глубже, чем другой, и каждый посылает сухожилия ко всем четырем пальцам. Значит, каждый палец получает два шнурка, идущих один под другим по ладонной стороне. Шнурки поверхностного сгибателя кончаются на средних фалангах пальцев. Шнурки глубоко входят до самых ногтевых фаланг, и для этого им приходится пролезать под соответствующими сухожилиями поверхностного сгибателя, которые для этого случая на концах раздвоены, как вилочки. Но не следует думать, что глубокий сгибатель сгибает одну только ногтевую фалангу, а поверхностный сгибатель — одну только среднюю фалангу. Наоборот, вы знаете, что сгибать отдельно одну только ногтевую фалангу, не сгибая остальных, мы совсем не умеем. Надо помнить, что мышца движет все те сочленения, через которые она проходит. Следовательно, глубокий сгибатель пальцев сгибает кисть и все сочленения пальцев, т.е. сжимает руку в кулак. Поверхностный сгибатель сгибает все те же сочленения, кроме только последних сочленений пальцев.

Я не буду подробно рассказывать вам о тех мышцах, которые лежат на самой кисти руки. Эти мышцы очень маленькие, и слабые и употребляются они только при очень тонких пальцевых работах, например, при рисовании, игре на музыкальных инструментах, да и то всегда совместно с длинными мышцами. Вам ничего не даст знание тонкостей распределения этих мышц; гораздо важнее будет отметить один общий принцип. Я сказал уже, что длинные мышцы пальцев проходят через очень много суставов. Значит, к ним в еще большей степени применимо то, что я вам рассказывал о бицепсе. По отношению к пальцам я бы сказал это так: сгибатели пальцев сгибают, а разгибатель разгибает все те сочленения из числа подведомственных им, которые не закреплены какой-либо другой мышцей или посторонней силой. Нам приходится приводить пальцы и кисть постоянно в соприкосновение с посторонними силами. Это происходит всегда, когда мы что-нибудь работаем, хватаем, несем и т.д. Вот почему та форма, которую принимают движения пальцев, больше зависит от характера этих внешних сил, чем от самих участвующих мышц. Сгибатели и разгибатель дают сырую силу, грубо направленную в ту или другую сторону. Претворение этой силы в тонко обработанное трудовое движение очень часто больше зависит от орудия и способа его хватки, чем от самих мышц руки. Уже отсюда может вам стать понятным громадное значение правильной хватки инструментов.

Мышцы большого пальца я тоже не стану подробно описывать, укажу только на главные отличия их от мышц прочих пальцев. Прежде всего в большом пальце, кроме длинных мышц, идущих с предплечья,

есть еще довольно сильные короткие: это те, которые образуют возвышение большого пальца на ладони. Мышцы этого возвышения все так или иначе сгибают большой палец; потому в числе длинных мышц у него только один сгибатель и целых два разгибателя. Второе отличие состоит в том, что пястная кость большого пальца (та, что скрыта в мякоти ладони) может совершать два рода движений по двум степеням своей подвижности. Этим она отличается от пястных костей остальных пальцев, которые почти неподвижны. Поэтому она обслужена собственным штатом мышц; среди них-то и состоят один из длинных разгибателей и некоторые из коротких сгибателей. Все это обеспечивает большому пальцу значительную и разнообразную подвижность.

Этими данными мы заканчиваем обзор мышц руки. Он был поневоле очень поверхностен; но я не могу желать большего, чем того, чтобы вы хотя сколько-нибудь ориентировались в распределении и способах действия двигателей верхних конечностей. Более подробный обзор мышц руки и образа их действия вы сможете найти в моей книге «Общая биомеханика». Нижнюю же конечность, которая, кстати сказать, гораздо проще, мы по недостатку времени отложим до следующей лекции.

Лекция 6

Товарищи! Мы посвятили целую прошлую лекцию разбору мышц верхней конечности. Вас, вероятно, пугает предвидение еще одной поневоле такой же скучноватой лекции о мышцах ноги; но, к счастью, с ногою мы разделаемся гораздо скорее. Причины этому вот какие.

Во-первых, вы помните, что верхний или плечевой пояс подвешен полностью на мышцах. Этих закрепляющих мышц там довольно много, и мы потратили на них порядочно внимания и времени. В противоположность руке тазовой пояс есть жесткое сооружение, и ни одна мышца не занята специально тем, чтобы закреплять его.

Во-вторых, нашу задачу описания ножных мышц сильно облегчает то обстоятельство, что нога и рука очень похожи между собой. Отчасти мы намекали на это уже в первой лекции. Помните? Как в той, так и в другой верхний отрезок образован одной костью, средний — двумя, а краевой — кисточкою, оканчивающейся пятью пальцами. Расположения сочленений на руке и на ноге тоже очень похожи: на самом веру шаровое трехосное сочленение, следом за ним кнаружи — одноосное; между средним и краевым звеньями — двухосное сочленение; наконец, еще одна степень подвижности — где-то на протяжении среднего звена (пронация и супинация предплечья, вращение голени вокруг продольной оси внутрь и наружу). Более того, если бы вы вздумали сравнить между собой формы соответствующих костей руки и ноги, то вы и тут усмотрели бы порядочное сходство. Все эти сходные черты заставляют нас задать себе вопрос: а нет ли такого же близкого сходства и между мышцами верхней и нижней конечностей?

Если вы заглянете в анатомический атлас, то, увы, там почти никакого подобия не обнаружится. Вам покажется, что ножные мышцы смонтированы по совершенно новому плану, в котором трудно подыскать какие-нибудь уже знакомые черты. Особенно сбивают с толку мышцы таза и тазобедренного сочленения. Эти мышцы очень мучительны для студентов-медиков, потому что их много, расположены они под разными углами друг к другу, всячески пересекаются и скрещиваются и, в конце концов, непонятно, для чего служат. Но погодите приходить в отчаяние.

Ничего нет мудреного, что вы не обнаруживаете единства плана у человека. Слишком различны у него назначения верхних и нижних конеч-

ностей, слишком различны механические задачи, которые им приходится разрешать. Если здесь и был когда-либо общий план, то он давно и неминуемо должен был затухать, извратиться из-за изменившихся условий. А вот обратимся к тем позвоночным животным, у которых обе пары конечностей несут приблизительно одинаковые обязанности, и посмотрим, не будет ли общий план яснее именно у них.

Прежде всего разберемся еще раз в костях и посмотрим, что чему соответствует в плечевом и тазовом поясе. Лопатка, как вы может быть помните, состоит из двух частей: к позвоночнику, т.е. к спинной стороне, обращена пластина, а к брюшной стороне подвернуты два стерженька: ключичный и клювовидный отросток (рис. 38). Каждая из тазовых костей построена так же точно: к спинной стороне обращена пластина, а к брюшной — два стерженька. Эти стерженьки называются в тазу лобковыми и седалищными частями. И в лопатке, и в тазу сочленовная впадина, к которой присоединяется верхняя кость конечности, лежит в промежутке между обоими стерженьками.



Рис. 38. Вид правой лопатки сзади

Кроме того, не забудьте еще одной вещи, о которой тоже упоминалось в первой лекции. Я имею в виду то, что передняя и задняя конечности обращены друг к другу. Все это вы очень хорошо разглядите на рис. 39. Все то, что в передней конечности глядит назад, то в задней конечности, напротив, глядит вперед. Сравните, например, локоть и колено, направления плечевой и бедренной костей и т.д. на нашем рисунке, изображающем скелет собаки.

Начнем сравнение мышц обеих конечностей. Тот рисунок, что я показал вам сейчас, должен сразу вас несколько успокоить. Посмотрите, какая громадная симметрия существует между мышцами той и другой конечности. На рисунке соответствующие друг другу мышцы нарисованы одинаковыми пунктирами и помечены одинаковыми номерами.

В верхней конечности мы разделили мышцы плечевого сочленения на две группы: коротких и длинных мышц. Такие же группы можно бы наметить и около тазобедренного сочленения. Одна из длинных мышц плеча (широкая мышца спины) начинается далеко назад от позвоночника и тянется вперед к головке плеча (точнее говоря, к малому бугру). Точно такого же типа мышца есть и около тазобедренного сочленения: она начинается на позвоночнике далеко впереди и тянется назад опять-таки к головке бедра (точнее — к бугру, называемому малым вертелом бедра). На нашем рисунке эта мышца имеет № 1. Сходство той и другой доходит до

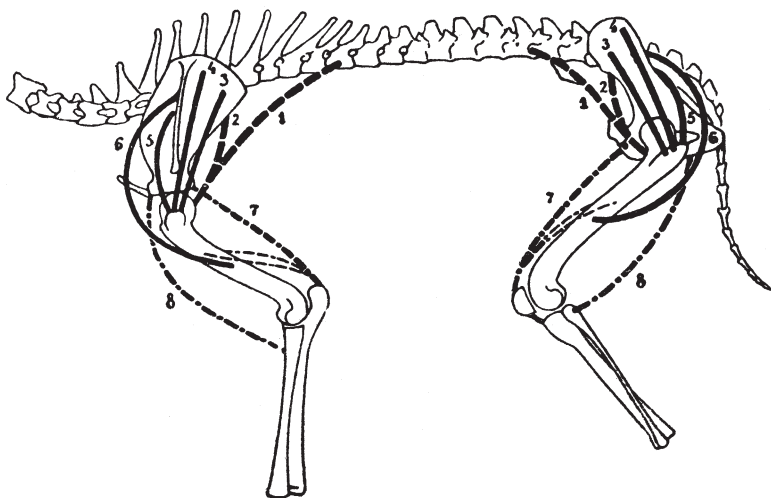


Рис. 39. Схема, изображающая расположение мышц передней и задней конечностей четвероногого млекопитающего. Соответственные мышцы нарисованы одинаковыми пунктирами и помечены одними и теми же номерами

того, что у каждой из них есть по придатку, начинающемуся от пластин лопатки и тазовой кости (№ 2). Описанная нами сейчас мышца носит название пояснично-подвздошной мышцы и служит главным сгибателем бедра. Из рисунка совершенно ясно ее назначение.

Как и в плечевой области, у этой мышцы есть противник – антагонист. На плече таким антагонистом является дельтовидная мышца; здесь эта мышца лежит на задней стороне таза, имеет громадный размер (еще больше дельтовидной) и работает как разгибатель бедра. Называется она большая седалищная мышца (рис. 39, 6). Именно она образует округлость седалища и хорошо видна снаружи на живом человеке. На рис. 40 изображены подвздошная и большая седалищная мышцы человека и показано, как они действуют.

Для большой грудной мышцы тоже есть своя соответствующая мышца в тазовом поясе, но там она очень мала и для нас с вами не имеет значения: мы ее и оставим без внимания. Зато короткие мышцы плечевого сочленения отображены в тазу очень картинно и имеют первостепенную важность.

Может быть, вы помните, что от нижней части лопаточной пластины тянулась к большому бугру плеча мышца, называемая подостною. Анатомы различают здесь даже целых две сливающиеся между собой мышцы (на рис. 39 №№ 3 и 4). В тазу соответствующие мышцы (тоже №№ 3 и 4) тянутся

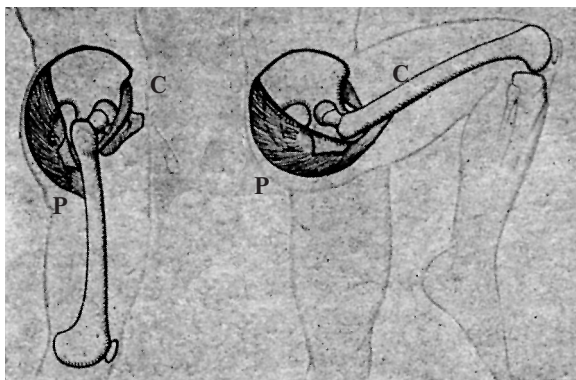


Рис. 40. Сгибатели (С) и разгибатели (Р) тазобедренного сочленения и их действие (по Моллиеру)

тем же порядком от тазовой пластины к большому вертелу бедренной кости. Обе эти мышцы — средняя и малая седалищные — поднимают бедро в сторону. На рисунке 41 изображены эти мышцы у человека.

Наконец, небольшая клювовидная мышца

плеча (от клювовидного отростка лопатки к внутренней поверхности плеча) превратилась в нижней конечности в громадный пакет мышц, которые соединяют лобковую часть таза с внутренней стороной бедренной кости. Весь этот пакет имеет название приводящих мышц бедра; название, конечно, неправильное, потому что на самом деле они не приводят бедро, а только опускают его снаружи внутрь. И эти мышцы хорошо видны на рис. 41.

Мы оставляем без внимания мышечную мелочь, которой в тазу порядочно; но и ее можно было бы без труда привести в соответствие с мышцами плеча. Мы лучше сделаем сводку тех четырех важнейших групп, которые мы пока что обнаружили кругом тазобедренного сочленения:

1. Подвздошная мышца — сгибание бедра.
2. Большая седалищная — разгибание.
3. Средняя и малая седалищная — поднятие бедра наружу.
4. Приводящие мышцы — опускание бедра внутрь.

Заметим к слову, что на самом деле действие этих механических групп совсем не так просто и однородно, как здесь описано. Очень многое зависит от исходного положения бедра, взаимодействия разных мы-

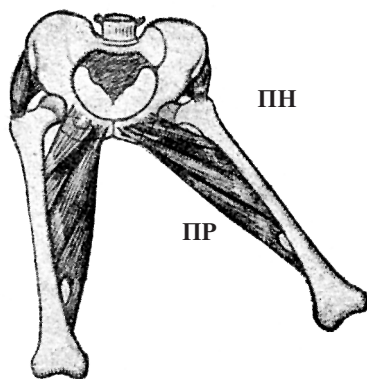


Рис. 41. Мышцы, поднимающие бедро наружу (ПН) и «приводящие» мышцы бедра (ПР) (по Моллиеру)

шечных групп и т.д. В общем можно сказать, что наши четыре основные группы могут двигать бедро по всевозможным направлениям в границах его подвижности. Мелкие, не описанные нами мышцы, отчасти помогая главным, заведуют в то же время вращениями бедра вокруг его собственной продольной оси.

Разберем еще, почему в тазовом поясе так велика и сильна группа приводящих мышц. Здесь секрет все в тех же свойствах арки, о которых мы говорили не раз. Тяжесть тела давит на таз с середины, а точки опоры у него по сторонам. Значит, таз вместе с обеими ногами есть тоже арка и, как таковая, нуждается внизу в растяжке. Между тем, конечно, связать ноги между собой внизу нельзя; приходится сооружать растяжку иначе. Из рис. 41 хорошо видно, что приводящие мышцы и являются как раз требуемой растяжкой. Они не дают ногам разбегаться в стороны под действием тяжести тела, и момент их для этой цели должен быть довольно велик.

Перейдем к мышцам, управляющим коленным сочленением. Как и в локтевом сочленении, здесь имеется всего две группы антагонистов. Не забудьте, что мышца, сидящая на плече сзади, должна отразиться на ноге в виде мышцы, сидящей спереди, и наоборот. Так вот, трехглавому разгибателю локтя в точности соответствует на ноге четырехглавый разгибатель колена (рис. 39, № 7). Как и там, длинная головка переходит и через шаровое (тазобедренное) сочленение. Короткие головки обрастают бедренную кость со всех сторон. Только коротких головок здесь не две, а целых три.

Есть еще одна замечательная разница между локтевым и коленным разгибателем. Локтевой разгибатель кончается внизу на длинном крюке локтевой кости. У коленного разгибателя такой же крюк как бы оторвался от большой берцовой кости и повис в середине мышечного сухожилия, прямо над коленным сочленением. Это есть косточка, которую называют коленной чашкой. Как видите, коленная чашка не есть самостоятельная кость, а своего рода костная мозоль, развившаяся в сухожилии там, где оно огибает сочленение и трется о него.

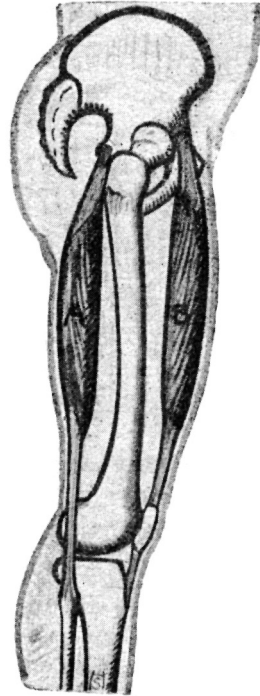


Рис. 42. Двуглавый сгибатель колена (А) и разгибатель колена (В) (по Моллиеру)

Интересно добавить, что разгибатель колена в общем слишком короток. Его хватает на одно сочленение, но обслуживать оба сочленения, через которые он проходит, без взаимной помехи ему не всегда удастся. Попробуйте согнуть ногу в колене, а затем разгибать ее же в тазобедренном сочленении. Когда дойдете до такого положения, дальше которого бедро у вас не идет, распрямите колено и вы увидите, что сейчас же разгибание бедра можно будет продолжить еще градусов на 15. Вы ослабили натяжение вашей мышцы в колене, и только тогда она предоставила вам свободу действия в тазобедренном сочленении.

На противоположной, сгибательной стороне бедра и колена лежат не две (как в верхней конечности), а целых три сгибательных мышцы. Одна из них (помеченная на рис. 39 № 8) в точности соответствует бицепсу или двуглавой мышце плеча и даже название имеет такое же: бицепс, или двуглавая мышца бедра. Та прикреплялась к лучевой кости, эта – к малой берцовой. Начинается ножной бицепс частью от бедра, частью – от таза. Действие его понятно само собою.

Вместо одной внутренней плечевой мышцы на бедре сидит целых две. Начинаются они обе от того же седалищного бугра, что и длинная головка бицепса, а книзу расходятся от него вилкой к внутреннему краю большой берцовой кости. Бицепс бедра и кусок четырехглавого разгибателя показаны на рисунке 42.

И сгибатели колена тоже несколько коротки. Здесь это еще заметнее, чем на разгибателе. Опять сделаем опыт, на этот раз наоборот. Выпрямите колено и поднимайте ногу вперед, т.е. сгибайте бедро. Когда дойдете до предела и почувствуете характерную боль в подколенной ямке, согните колено. Тотчас же боли как не бывало, и бедро можно будет согнуть еще градусов на 45, а то и больше. Причина этому опять та же: недостаточная растяжимость мышц; а почему она так действует, попробуйте объяснить сами.

На голени сходство мышц с мышцами предплечья сильно затушевано даже у четвероногих. Поэтому мы покинем нашу схему, столько раз нам помогавшую, и постараемся рассказать о мышцах голени коротко и ясно без всяких сравнений.

На голени замечательна одна вещь. Усажена она с нескольких сторон жиденькими, слабыми мышцами, которые легко устают и не могут нести серьезной работы. И вдруг, рядом с этими чахлыми мышцами горой вышается одна большая и исключительно сильная, которая заведует разгибанием стопы.

В чем тут дело? Почему именно разгибание стопы получило такие несоразмерные привилегии? Почему именно здесь воздвигнута мышца-гигант рядом с мышцами-карликами?

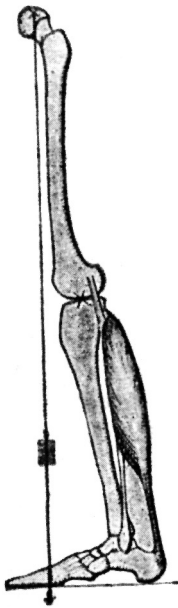


Рис. 43. Икроножная мышца и ее роль при стоянии (по Моллиеру)

Причина, по всей вероятности, в том, что только эта тяжеловесная мышца выполняет постоянную и ответственную работу. Остальные помещены как-будто только для формы, потому что надо же обеспечить стопе активную подвижность по тем направлениям, которые предоставлены ей устройством голеностопных сочленений. Работать же им приходится редко и мало.

Великан, о котором я сейчас сказал, есть икроножная мышца, — то, что в просторечии называют икрами. Эта мышца лежит на задней стороне голени и начинается как от костей голени, так и от нижних концов бедра. Местом прикрепления ее внизу служит огромный рычаг, образуемый далеко выдающейся назад пяточной костью. Сказать к слову, и плечи рычагов остальных мышц голени так же не велики, как сами мышцы.

Рисунок 43 ответит вам на то, какую роль играет икроножная мышца при стоянии. Вы видите, что в большинстве случаев голени, а иногда и бедра, наклонены немножко вперед. Центр тяжести туловища (а что это такое и как его найти, мы скажем еще сегодня) оказывается немного впереди от обоих голеностопных сочленений. Поэтому нормальное положение вещей таково, что все тело стремится завалиться вперед.

Этому-то заваливанию и препятствуют икроножные мышцы. Ведь при падении вперед произошло бы сгибание стоп в голеностопных сочленениях, и потому икроножная мышца, действуя как разгибатель стопы, препятствует падению и уравнивает тело в стоячем положении.

Еще важнее роль икроножной мышцы при ходьбе, а также беге, прыжке и т.д. Последите за собою сами и вы увидите, что все эти движения совершаются за счет отталкивания носком ноги от земли, т.е. за счет разгибания стопы. Я прибавлю еще, что не только начало, но и конец прыжка, конец каждого шага при ходьбе и беге сильнейшим образом зависят от деятельности икроножной мышцы. В этих случаях она действует как рессора, смягчая и ослабляя всякого рода толчки. Очень посоветую вам спросить у кондуктора автобуса, что у него к вечеру болит больше всего? Рессорная роль требует от заведующей этим делом мышцы особого постоянства и неутомимости; поэтому-то икроножная мышца и является такой сильной и так выгодно поставленной. Это прекрасный работник, и человек непременно использует его везде, где только это возможно. Де-

вицы, нажимающие на педаль велосипеда серединой стопы, а не носком (таких сейчас в Москве много), поступают совершенно безграмотно. Во всех работах педалями необходимо приспособлять для работы икроножную мышцу. Добавлю еще, что педаль ножных швейных машин также глубоко безграмотна биомеханически, так как ось ее проходит посередине и вынуждает пользоваться не только разгибателем, но и сгибателями стопы, отчего нога неизбежно скоро устает.

Нам не придется разбирать в отдельности мелкие мышцы голени; они не имеют для нас большого значения. Укажу только, что некоторое сходство с мышцами предплечья сохраняется и здесь. Как и на предплечьи, четыре мышцы, расставленные по углам, обеспечивают двухосному сочленению между голенью и стопой его подвижность. Как и на предплечьи, мышцы пальцев ноги лежат в значительной части на голени. Конечно, пронаторов и супинаторов на голени уже нет. Но, кроме того, мышцы ножных пальцев получают гораздо более сильное подкрепление на самой стопе, нежели мышцы ручных пальцев имеют на ладони. Нижняя сторона стопы выстлана целой подушкой из таких мышц, играющей немалую роль в поддержании эластичности стопы.

Если знакомство с ручными мышцами нужно было нам для того, чтобы осмыслить руку как рабочий орган, то интерес наш к мышцам ноги определяется другим. При изучении трудовых процессов нога интересует нас, в первую очередь, как опора тела; как говорят иногда, в ноге нам важна не столько динамика, сколько статика. Но вот для того, чтобы обзреть ножные мышцы и их назначение с этой точки зрения, нам надо сперва познакомиться с основными понятиями равновесия человеческого тела и его частей.

Начнем с изучения центров тяжести человеческого тела и отдельных его звеньев. Основное свойство центра тяжести какого-нибудь тела, как известно, таково: это есть точка, через которую проходит при всех возможных положениях данного тела равнодействующая силы тяжести. Боюсь, что такое определение для вас не совсем понятно. Подойдем к нему несколько со стороны.

Возьмем велосипедное колесо, сидящее на своей оси. Приподнимем слегка велосипед и посмотрим, что делается с колесом. Как вы видите, оно очень медленно начинает поворачиваться, совершает некоторый размах, потом пускается в обратную сторону и продолжает совершать все ослабевающие качания в ту и в другую сторону, пока, наконец, не успокоится совсем. Отчего колесо пришло в движение?

Слушатели. Может быть, в начале был толчок?

Лектор. Может быть. Давайте проверим. Вот я поднимаю велосипед очень осторожно, придерживая колесо рукой. Теперь, уже поднявши,

я осторожно отнимаю руку от колеса: оно тотчас же начинает качаться. Всмотритесь в колесо внимательнее. Оно не вполне симметрично: на одной стороне его находится металлический вентиль, через который накачивают шину. У меня с собой есть другой отломанный вентиль. Я привяжу его к колесу на прямо противоположной стороне. Теперь повторим опыт: вы видите, колесо и не думает качаться.

Вот у нас есть небольшая совокупность наблюдений; разберем их механически. Колесо велосипеда, как и всякое тело, имеет вес, значит, оно стремится падать вниз. Такое стремление вниз свойственно, конечно, и всякой отдельной частице колеса. Однако в нашем втором опыте ни все колесо в целом, ни одна из его частиц не опускаются вниз — следовательно, что-то их удерживает. Посмотрим, могут ли все частицы колеса одновременно опускаться вниз? Очевидно, нет, так как мы удерживаем колесо на определенной высоте за его ось. Значит, неизбежно, если одни из частиц будут опускаться вниз, другие должны будут подниматься вверх.

Вы знаете, что работа измеряется произведением груза на перемену высоты этого груза. Единицей работы мы считаем килограммометр, т.е. работу, затрачиваемую при поднятии одного килограмма на один метр. Если тот же килограмм опустится на метр, то он возвратит такую же порцию работы. Повернем на некоторый угол наше колесо. Одни его частицы поднялись, т.е. поглотили работу, другие частицы опустились, т.е. отдали работу. Если работа всех частиц, которые поднялись, в точности равна общей работе всех частиц, которые опустились, то, значит, работа колеса в целом есть нуль. А так как движение под действием силы всегда сопровождается настоящей, не нулевой работой, то значит — на движение нашего колеса никакие силы не действовали. Следовательно, колесо находится в равновесии.

Итак, равновесие имеет место тогда (и только тогда), когда общая работа тела при небольшом смещении равна нулю. В случае симметричного колеса это правило проявляется особенно просто. Против каждой из его частиц по другую сторону оси лежит на таком же расстоянии другая, равная ей, которая всегда совершает как раз противоположные движения с первой частицей. Работа каждой такой пары при неподвижной оси всегда равна нулю.

В колесе с одним вентилем он один только без пары, и поэтому сила тяжести действует на него и заставляет отдавать работу. Достаточно и ему пристроить пару, чтобы все уравновесилось вновь.

Каковы же условия, требующиеся для того, чтобы пара точек была в равновесии? Мы знаем, что для этого работы, совершаемые ими при любом смещении, должны быть постоянно равны и взаимно противоположны.

Ясно, что чем точка ближе к оси вращения, тем меньшие перемещения вверх и вниз она может совершать. А так как работа — это произведение груза на вертикальное перемещение, то для сохранения постоянства этого произведения надо делать первый сомножитель его (груз) тем больше, чем меньше второй сомножитель (т.е. чем меньше радиус). Мы знаем, что произведение груза на радиус есть момент груза; значит, для равновесия требуется, чтобы моменты обеих точек нашей пары были равны и противоположны.

Обратимся теперь к случаю, когда требуется уравновесить не две точки, а три или больше зараз. Здесь рассуждение будет такое же точно. Вы уже видели, что когда момент даже маленькой группы частиц, сосредоточенных в вентиле, отличался от нуля, тотчас же этот момент начинал совершать работу, и колесо приходило в движение. Отсюда делаем такой вывод: для того, чтобы имело место равновесие тела, насаженного на ось, необходимо, чтобы совокупный момент всех частиц тела относительно этой оси равнялся нулю. Та точка тела, относительно которой совокупный момент всех частиц равен нулю, и есть центр тяжести тела.

Вам понятно, что тело, которое поддерживается нами за центр тяжести и потому прибывает в равновесии, все же не теряет ни одной доли своего веса. Если колесо весит один килограмм, то вся эта тяжесть одного килограмма давит через ось на точки ее опоры. Это значит, прежде всего, то, что действие тяжести всех отдельных частиц тела можно как бы заменить действием одной единственной силы, которая равна весу нашего тела и приложена к центру тяжести тела. Попробуем теперь подпереть тело в какой-нибудь другой точке в стороне от центра тяжести. По-прежнему равнодействующая тяжести нашего тела будет приложена в центре тяжести, но на этот раз точка ее приложения окажется уже в стороне от точки опоры. Следовательно, на этот раз сила тяжести будет иметь определенный момент. Пусть, например, тяжесть тела есть один килограмм, а расстояние от центра тяжести до точки опоры — 0,1 метра (10 сантм.). Момент тяжести составит в этом случае 0,1 килограммометра, и именно этот момент определит собой движение нашего неуравновешенного предмета.

Покончим теперь с отвлеченными рассуждениями и попробуем применить наши выводы к биомеханике. Вообразите, что мы закрепили в пространстве плечо, а предплечье может свободно совершать качания вокруг оси локтевого сочленения. Какова должна быть сила мышц, движущих предплечье, для того, чтобы уравновесить его или сдвинуть с места? Ответить на это можно только в том случае, если знать вес предплечья и положение центра его тяжести.

Не буду рассказывать вам, каким образом ученые определили эти веса и положения. Практически вам следует иметь понятие о самых значениях этих весов и расположений. Однако, чтобы дать вам понятие о способах такого рода определений, я расскажу об одной из старых работ, посвященных определению положения центра тяжести всего тела в целом.

Человека нормального телосложения клали на деревянную доску в спокойном положении. Потом под эту доску клали брусок, заостренный кверху, на котором доска могла покачиваться как качели. Передвигая брусок вперед и назад, добивались такого положения, при котором доска с лежащим на ней человеком оказывалась в точности в равновесии. Положение бруска зарисовывали после этого на доске. Затем брусок поворачивали под прямым углом и снова искали положения равновесия тем же порядком. Точка пересечения обоих найденных положений бруска приходилась, очевидно, как раз под общим центром тяжести человеческого тела и доски. Зная положение центра тяжести доски, можно было без труда подсчитать положение центра тяжести одного только тела.

Прежде всего дам вам представление о средних значениях веса отдельных звеньев человеческого тела. Эти значения подсчитаны для человека нормального телосложения, весящего 60 килограмм. Если кто предпочитает пуды и фунты, пусть пересчитает сам.

Теперь можно перейти к вопросу о том, как именно расположены центры тяжести всех этих звеньев внутри их. Здесь мы встречаемся с некоторыми затруднениями. Во-первых, центр тяжести каждого звена, например, плеча или предплечья, не сидит в точности на одном месте. Ведь мышцы и кожа не неподвижны, а немножко смещаются, следовательно, смещается и центр тяжести. Во-вторых, определить на живом человеке, где у него лежит центр тяжести плеча или голени невозможно; а если определить эти положения каким-нибудь косвенным образом (например, на трупе) раз навсегда, то кто поручится, что эти измерения подойдут ко всякому живому человеку? По счастью, для вас не требуется особой точности, а если отвечать на вопрос приблизительно, то эти мелкие отклонения не имеют особого значения. В качестве нескольких удобно запоминаемых правил укажу вам вот какие положения.

Если вы проведете мысленно прямые линии вдоль каждого из длинных звеньев (т.е. вдоль плеча, предплечья, бедра и голени) так, чтобы эти линии проходили через центры обоих пограничных сочленений данного звена, то окажется следующее. Во-первых, во всех этих звеньях центры тяжести лежат на проведенных вами линиях, которые мы назовем осями звеньев. Во-вторых, расстояния этих центров тяжести от центров пограничных сочленений относятся между собою во всех случаях приблизительно как

Названия звеньев	Веса звеньев, кг	Отношение весов звеньев к весу тела
1. Голова	4,236	0,0706
2. Туловище	25,620	0,4270
3. Бедро	6,948	0,1158
4. Голень	3,162	0,0527
5. Стопа	1,074	0,0179
6. Плечо	2,016	0,0336
7. Предплечье	1,368	0,0228
8. Кисть	0,504	0,0084
9. Голова + туловище	29,856	0,4976
10. Голень + стопа	4,236	0,0706
11. Вся нога	11,184	0,1864
12. Предплечье + кисть	1,872	0,0312
13. Вся рука	3,888	0,0648
14. Обе ноги	22,368	0,3728
15. Обе руки	7,776	0,1296
16. Туловище + голова + обе руки	37,632	0,6272
17. Все тело	60,000	1,0000

4:5. Постоянно к центральному сочленению центр тяжести лежит немного ближе, чем к дальнему.

С кистью и стопой дело обстоит тоже довольно благополучно. Если за ось стопы считать прямую, проходящую от конца пяточного бугра к концу второго пальца, то центр тяжести стопы лежит на этой оси и делит ее на части опять-таки приблизительно в отношении 4:5. Что касается кисти, то вследствие ее подвижности центр ее тяжести постоянно сильно блуждает, поэтому для него нельзя указать постоянного места жительства. По счастью, вес кисти очень мал ($1/2$ килогр.), и потому свободно можно отвлечься от всех ее мелких движений. Если для приближения вообразить себе кисть неподвижно связанной с предплечьем, то можно удовлетвориться знанием положения центра тяжести обоих этих звеньев вместе взятых. Для этого продолжим ось предплечья дальше, до кончиков пальцев. Общий центр тяжести предплечья и кисти лежит тогда (опять-таки, конечно, приблизительно) на этой оси и расположен вдвое ближе к лучезапястному сочленению, чем к локтевому.

Гораздо труднее определить положение центра тяжести туловища: очень уж оно гибко и постоянно меняет свою форму. Мы наметим место

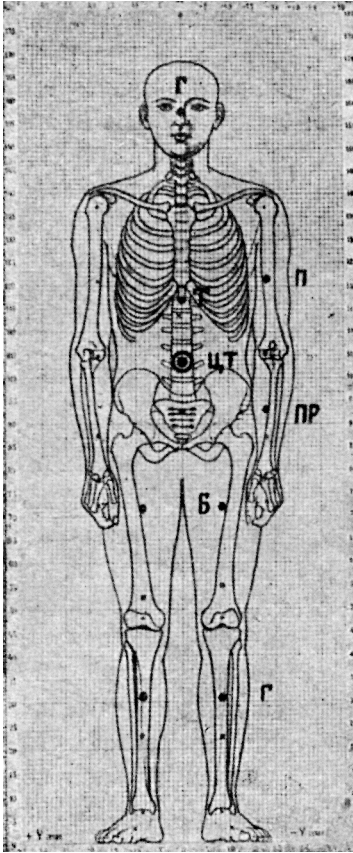


Рис. 44. Схема скелета, показывающая расположение центра тяжести.

- Г – центр тяжести головы
- Т – " – " туловища
- П – " – " плеча
- ПР – " – " предплечья
- Б – " – " бедра
- Г – " – " голени
- ЦТ – " – " всего тела

(по Р. Фиксу)

центра тяжести туловища при спокойном стоячем положении. В этом положении центр тяжести отыщется так. Проведите горизонтальные прямые линии, соединяющие между собою соответственно оба плечевых и оба тазобедренных сочленения. Расстояние между серединами этих прямых разделите опять-таки в отношении 4:5 (так, чтобы верхний отрезок соответствовал 4, а нижний 5). Тогда место раздела будет искомым центром тяжести. Наконец, центр тяжести головы лежит внутри черепа, немного повыше линии, соединяющей оба ушные отверстия.

Все эти данные и приемы, может быть, лучше закрепятся в вашем воображении, если вы внимательно рассмотрите рисунок 44. На этом рисунке изображена человеческая фигура спереди. Вся площадь рисунка разделена на мелкие клетки, которые соответствуют одному сантиметру натуральной величины каждая. Положения всех тех центров тяжести, о которых сейчас говорилось, нанесены на этом рисунке кружками.

Мне придется еще на несколько минут вернуться к теоретической механике. Надо выяснить, как найти центр тяжести системы, состоящей из двух предметов, если известны веса этих предметов и положения центров тяжести в каждом из них. Как ни странно, но эта задача решается гораздо проще, нежели задача отыскания центра тяжести каждого из предметов, взятых в отдельности.

Следует только помнить, что центр тяжести тела – это точка, через которую проходит равнодействующая силы тяжести. Иными словами, мы можем считать, что вся тяжесть каждого из наших тел как бы сосредоточена в одной этой точке. Следовательно, задача,

которую мы сейчас себе поставили, превращается в другую, гораздо более легкую: в задачу нахождения центра тяжести системы, состоящей всего навсего из двух точек, причем веса и положения обеих точек известны. А эту задачу мы уже решили в сегодняшней лекции. Чем больше груз, тем он ближе должен лежать к центру тяжести; расстояния грузов от центра тяжести обратно пропорциональны самим грузам. Итак, центр тяжести системы, которая состоит из двух весящих точек, находится на одной прямой с обеими этими точками и делит расстояние между ними на отрезки, обратно пропорциональные грузам, сосредоточенным в обеих точках.

Взгляните на рис. 45. На нем схематически изображены сочлененные между собой в локте плечо и предплечье с кистью. Центры их тяжести обозначены соответственно буквами a_1 и a_2 . Центр тяжести всей руки вместе должен лежать на одной прямой с обеими этими точками, т.е. в какой-то точке S . Его расстояния от a_1 и a_2 должны быть обратно пропорциональны с весами плеча и предплечья. (В этом примере мы все время рассматриваем предплечье заодно с кистью). Итак, отрезок r_1 относится к отрезку r_2 как вес предплечья к весу плеча.

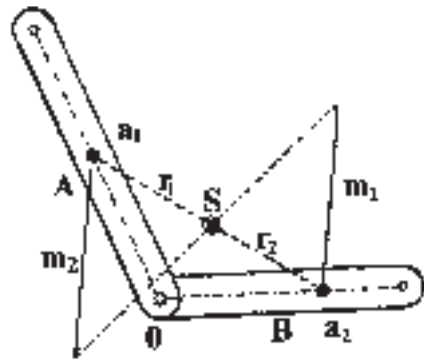


Рис. 45. Центр тяжести двух сочлененных звеньев (S) и способ его нахождения. Центр тяжести A лежит в a_1 , центр тяжести звена B — в a_2 . Пояснения остальных букв и линий — в тексте

Отсюда вытекает очень простой графический прием для определения положения такого совокупного центра тяжести.

Отложите от центра тяжести первого звена, a_1 , в любом направлении отрезок m_2 , изображающий в каких угодно единицах вес второго звена (рис. 45). Из центра тяжести второго звена проведите линию параллельно первой, но в противоположную сторону, и на ней отложите в тех же единицах вес первого звена. Затем соедините прямыми линиями, во-первых, центры тяжести обоих звеньев, во-вторых, концы проведенных сейчас весовых отрезков. Точка пересечения обеих этих линий и будет общий центр тяжести S .

Понятно, что этот общий центр тяжести плеча и предплечья не сидит на одном месте, а все время меняет свое положение в зависимости от изменений локтевого угла. Поэтому угнаться за ним довольно трудно. Хорошо, что вам в вашей повседневной практике это, вероятно, никогда

и не понадобится. Если я, тем не менее, рассказывал вам об этом способе, то это потому, что он понадобится нам сегодня же для другой несколько неожиданной цели – именно для определения рациональной стойки. Запомните пока, что центр тяжести нашей пары постоянно делит расстояние между центрами тяжести ее частей в одном и том же отношении.

Это свойство центра тяжести системы дало возможность немецкому ученому Фишеру сконструировать модель, с помощью которой можно для всякого положения тела и его частей определить положения центров тяжести каждой такой части и всего тела. Вместе такая модель представлена на рисунке 46. Вы видите, что эта модель есть шарнирный человек, снабженный довольно сложной системой рычагов. Эти рычаги устроены так, что места их соединений постоянно указывают положения центров тяжести. Некоторые из соединений обозначены на рисунке 46 буквами. А – есть положение центра тяжести правой руки, В – положение центра тяжести обеих рук вместе, С – центр тяжести туловища и головы, D – центр тяжести правой ноги, E – центр тяжести обеих ног вместе. Наконец, F отмечает положение центра тяжести всего тела.

Уже из этой модели видно, что центр тяжести всего тела должен очень сильно менять свое положение при движении тела. Было бы очень трудно, не имея в руках модели рисунка 46, отдать себе отчет в том, где он находится в каждую данную минуту. Между тем, знание его положений и движений, хотя бы приблизительное, могло бы иметь огромное практи-

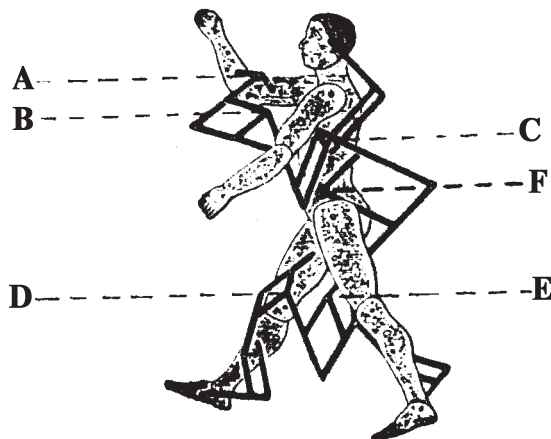


Рис. 46. Шарнирный человек для определения центра тяжести.
Объяснения в тексте (по О. Фишеру)

ческое значение. Поэтому я обучу вас, как приблизительно находить эти величины для разных случаев.

Прежде всего условимся, что понимать под так называемой нормальной стойкой. Такая стойка изображена на той самой разграфленной схеме (рис. 44), которую мы сегодня уже рассматривали. Эта стойка более или менее соответствует обычной стойке во фронте при команде «смирно», только без всяких напряжений и преувеличенных выпячиваний груди. Эта стойка тем замечательна, что при ней центры тяжести всех частей тела (кроме только стоп) лежат одни над другими в одной и той же вертикальной плоскости.

При нормальной стойке центр тяжести всего тела лежит тоже в этой центральной плоскости. Вы помните, что центры тяжести звеньев находятся на прямых линиях, соединяющих центры сочленений. При нормальной стойке и центры сочленений тазобедренных, коленных и голеностопных лежат опять-таки в той же центральной плоскости.

У нормального человека центр тяжести всего тела лежит при такой стойке на 4-5 см выше линии, соединяющей оба тазобедренные сочленения. Если я покажу вам, как найти эту линию, то, по крайней мере, при нормальной стойке вы будете точно знать, где лежит этот центр тяжести. На наружных сторонах бедер тотчас же под краешками тазовых костей прощупываются под кожей костные выступы. Это суть те самые большие вертела бедер, о которых мы говорили уже в начале лекции и которые изображены на рисунке 41. Если вы нащупаете с обеих сторон верхушки больших вертелов и соедините их мысленно прямой линией, то эта линия будет как раз проходить и через центры обоих тазобедренных сочленений.

Вообразите теперь, что человек стал в нормальную стойку, потом придал какое-нибудь новое положение одной руке, не меняя положений ни одной другой части тела. Что произойдет?

Взгляните на рис. 47. На нем опять-таки изображены две точки разного веса A и B и общий центр тяжести их S . Представим себе, что A вдесятеро тяжелее B ; тогда центр тяжести S лежит к A в десять раз ближе, чем к B . Пусть теперь A неподвижно, а B переехало в новое место B' . Из нашего рисунка вам вполне ясно, как переместится центр тяже-

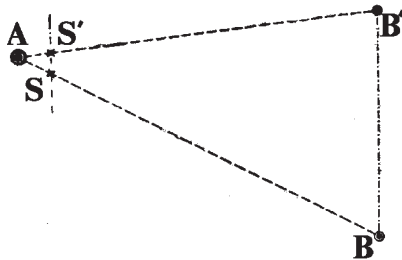


Рис. 47. Смещение центра тяжести, S , двух точек, A и B , из которых одна в 10 раз тяжелее другой. Объяснения в тексте

сти S. Он перейдет на прямую, соединяющую B' и A, и по-прежнему будет вдесятеро ближе к A. Обозначим его новое положение S'. Вы видите, что треугольники ABB' и ASS' подобны между собою, причем стороны первого в одиннадцать раз меньше, чем стороны второго. Поэтому смещение центра тяжести можно описать вот как.

Если одна часть системы остается неподвижной на своем месте, а другая часть смещается в некотором направлении на n сантиметров, то:

- 1) центр тяжести системы смещается по направлению, параллельному с направлением, взятым сместившейся частью;
- 2) величина смещения центра тяжести будет во столько раз меньше n сант., во сколько раз вес сместившейся части меньше, чем вес всей системы вместе.

Вернемся для иллюстрации к нашему примеру человека, махнувшего рукой. Из таблицы, которую я вам уже приводил, следует, что вес всей руки составляет примерно $\frac{1}{16}$ веса тела. Поэтому, если он сместил центр тяжести своей руки на 16 сантиметров в какую-нибудь сторону, то центр тяжести его тела отошел от положения, которое он занимал при нормальной стойке, в ту же сторону на один сантиметр. Пользуясь этим приемом рассуждения, вы теперь всегда уследите за его блужданиями при несложных движениях.

Из этого, в конце концов, несложного правила, к которому мы подошли таким окольным путем, вытекает другое правило, уже совершенно практическое. Это новое правило указывает способ определения рациональной стойки при рабочей операции.

Излишне и говорить вам, как много споров сосредотачивается кругом вопроса о рациональном расположении ног при работе. Всем вам хорошо известны положения, предложенные и предлагаемые ЦИТОм и другими подобными учреждениями. Вы сами не раз задавали мне вопрос о том, какой угол между ступнями правильнее при опиловке или рубке – в 67° или 70°. Может быть, вам не так хорошо видно, как мне с моего места, до какой степени все эти цифры и предложения случайны и не обоснованы. Очень часто эти цифры берутся прямо с потолка для того только, чтобы дать какое-нибудь постоянное правило и выявить научность своего подхода к делу. Между тем, есть один прием, очень простой и научно единственно правильный, к которому почему-то никогда не прибегают.

Начнем опять с нормальной стойки. Среднее типичное положение стоп при нормальной стойке указано на рис. 48. Это есть действительно только среднее положение, и колебания от человека к человеку могут здесь быть довольно велики. Так или иначе каждый из вас имеет первичное удобное положение для нормальной стойки, и из этого-то положения мы и будем исходить.

На том же рисунке 48 двойным кружком изображено положение точки, куда попадает отвес, опущенный из центра тяжести. Если центр тяжести передвинется на несколько сантиметров вперед, вправо и т.д., то и положение нарисованной точки переместится в плоскости пола на столько же сантиметров и в ту же сторону. Эту точку мы назовем проекцией центра тяжести.

Есть одно основное правило о центре тяжести. Это правило гласит так: пока проекция центра тяжести приходится внутри площади опоры, до тех пор равновесие может сохраниться, как только проекция вышла за пределы площади опоры, равновесие нарушено безусловно и восстановить его можно, только переместивши площадь опоры по-новому, так, чтобы проекция снова оказалась внутри нее. Площадь опоры называется, как вы понимаете, площадь, заключенная между всеми крайними точками опирающихся о землю частей тела и прямыми линиями, соединяющими между собою эти точки. Площадь опоры человеческого тела вы получите, если соедините прямыми линиями кончики носков и кончики пяток обеих ног. Эта площадь, состоящая из площадей опоры каждой из ног и из пространства между ними, изображена на рис. 48 штриховкой.

Ясно, что чем ближе проекция центра тяжести тела к краю площади опоры, тем больше риска потерять равновесие. Действительно, при таком краевом положении достаточно уже маленького отклонения проекции, чтобы равновесие погибло. Вы видите на рис. 48, что при нормальной стойке проекция расположена в общем достаточно далеко в тылу.

Если нормальная стойка стоп достаточно хорошо приспособлена для спокойного стояния, то не так обстоит дело с работой. При работе части тела движутся, следом за ними движется и центр тяжести, и его проекция, и есть опасность, что она с территории площади опоры ускользнет. Как поступить в этом случае? Понятно: надо увеличить, вытянуть площадь опоры как раз в том направлении, в каком странствует центр тяжести. А вы теперь умеете определять не только это направление, но даже и размах движения проекции.

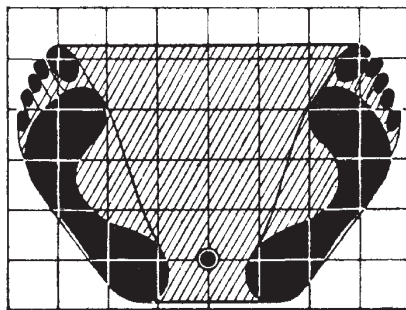


Рис. 48. Расположение стоп при нормальной стойке. Кружок — проекция центра тяжести тела. Площадь опоры тела заштрихована. Сторона каждого квадратака — 5 см (по Р. Фикку)

Возьмите, например, рубку зубилом. Наблюдение за этим движением показывает, что общий центр тяжести руки и молотка перемещается в плоскости, составляющей угол примерно в $40-50^\circ$ с фронтальной плоскостью. Перемещение его в этом направлении составляет 25-30 сантиметров. Значит, в том же самом направлении будет смещаться и центр тяжести всего тела. Вес руки с молотком составляет около 5 килограммов, т.е. приблизительно $\frac{1}{12}$ веса всего тела; следовательно, смещения центра тяжести тела при рубке составят около $\frac{30}{13}$ сантиметров, т.е. около $2\frac{1}{2}$ см. Если бы движение руки с молотком при рубке было медленным и плавным, то нам достаточно было бы удлинить площадь опоры как раз на $2\frac{1}{2}$ см, и удлинить в том же точно направлении, в каком движется рука, т.е. под углом $40-50^\circ$ фронтальной плоскости.

В действительности движение руки при рубке быстро и порывисто, и потому полученную цифру смещения надо увеличить. Я не могу здесь привести вам всех необходимых расчетов; скажу только, что эту величину придется приблизительно утроить, чтобы уравновесить еще и момент количества движения молотка. Эффект взмаха руки с молотком в общей сложности получается такой же, как если бы проекция центра тяжести тела смещалась на 7-8 см.

Отсюда вытекает простой рецепт рациональной стойки для рубки. Он вот каков. Встаньте в положение нормальной привычной стойки (рис. 48). Наметьте на полу положение проекции центра тяжести тела. От этого положения проведите прямую линию в обе стороны в направлении, в котором происходит удар. Затем сдвиньте каждую из стоп параллельно самой себе на $3\frac{1}{2} - 4$ см в направлении этой линии: одну — вперед, другую — назад. Полученная таким образом стойка есть несомненно лучшее, что вы в состоянии придумать.

Очевидно, все споры о 67° и 70° совершенно отпадают. Можно смело сказать, что при операциях, при которых размахи центра тяжести невелики, угол между стопами остается тот же самый, какой привычен данному человеку при нормальной стойке. Только положения стоп меняются. При операциях, требующих большого размаха центра тяжести (размашной удар молотобойца, строжка фуганком и т.д.), угол стоп будет меняться, но уже исключительно в силу того, что при широко расставленных ногах биомеханически удобнее брать больший угол между стопами. Как определять рациональные стойки для различных трудовых операций, мы разберем в порядке семинарских бесед.

Лекция 7

Товарищи! Мы достаточно подробно разобрали в прошлых лекциях устройство человеческой машины и те правила, сообразно которым эти части собраны в одно работоспособное целое. Теперь пора поставить вопрос о том, что оживляет, что приводит в движение этот искусственный механизм. Нами разобраны машинные части корабля, называемого человеческой машиной, теперь следует обратиться к его капитанскому мостику. Таким капитанским мостиком является центральная нервная система, т.е. совокупность головного и спинного мозга.

Раньше, чем говорить о строении мозга, обдумаем вкратце, какие задачи приходится ему выполнять, каковы обязанности, связанные с деятельностью центральной нервной системы.

Прежде всего это есть орган, который находится в связи со всеми мельчайшими частями, органами и закоулками человеческого тела. Он имеет прямые провода чуть ли не к каждой клеточке, входящей в состав тела. Как увидите дальше, связь эта двоякого рода, но устройство и способ работы всех этих проводов в основных чертах одни и те же. Эти провода центральной нервной системы называются нервными волокнами или нервами.

На рис. 49 представлен вид нервного волокна в продольном разрезе. То, что называют нервами в просторечии, есть в действительности целые кабели изолированных друг от друга нервных волоконцев, каждое же отдельное волокно много тоньше даже тех проволок, которые употребляются для обмотки телефонных электромагнитов: оно имеет всего одну, две сотые миллиметра в поперечнике.

Я не случайно сравнил нервное волокно с изолированной проволокой. Способ их действия и само строение во многом похожи друг на друга. Взгляните на рис. 49. Вы видите, что волокно имеет осевой стержень, одетый последовательно двумя оболочками. Исследования физиологов точно показали, что проводящей частью, проводом в собственном смысле является только срединный стержень волокна, а обе оболочки служат в точности для того же, для чего и обмотка электрических проводов: и та, и другая предназначены для разделения, изоляции рядом лежащих волоконцев друг от друга.

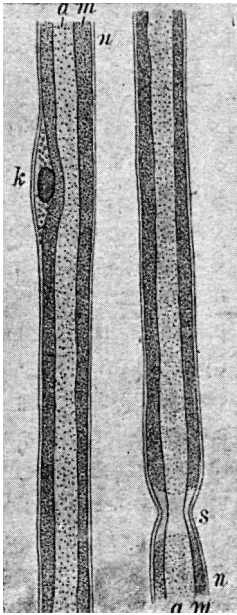


Рис. 49. Нервные волокна под микроскопом. Проводящая часть в середине, кругом — изолирующие обкладки (по Розенталю)

Вам известно, что телефонная и телеграфная связь по проволоке осуществляется с помощью электрического тока, распространяющегося по этой проволоке. Уместно спросить, за счет чего же осуществляется связь между точками человеческого тела по нервным связующим волокнам. Похож ли тот сигнал, который бежит по нервному волокну, на электрический ток или нет?

И похож, и нет. Несомненно одно, что нервные явления суть самые настоящие электрические явления. Организм животного и человека осуществил у себя электрическую связь за сотни тысячелетий до того, как человечество додумалось до такой связи в своих государствах и городах. Занятно будет отметить, что способа сношений, похожего на почту, с непосредственной переноской и пересылкой пакетов человеческая машина тоже не избежала; и самое занятное — это то, что «почтой» в человеческом организме регулярно пользуются совсем другие органы и с другими целями, нежели мозг¹.

А мозг сносится с подчиненными органами тела исключительно по нервному телеграфу.

Разница между электрическими процессами в проволоке и таковыми же в нервном волокне прежде всего та, что в проволоке, как известно, нет

движения частиц вещества. По проволоке, по которой идет электрический ток, несутся в одном направлении (от катода к аноду) мельчайшие частицы электричества — электроны. Я убежден, что каждый из вас, имевший дело с радиолюбительством, имеет понятие о том, что такое электроны. Так вот сигнал, несущийся по нервному волокну, хотя он тоже электрический, но переносится он с места на место частицами вещества, называемыми ионами. Это суть настоящие обломки вещества, заряженные, как бы нагруженные, электричеством. Каждый ион несет на себе заряд, как раз равный одному или двум (редко больше) электронам.

Тем из вас, кто занимался практически электротехникой, известно, может быть, что и в неживой природе есть случаи, когда электрические заряды переносятся на частицах вещества. Каждый, кто занимался гальванопластикой, никелированием и т.д., замечал, что около полюсов,

¹ Железы внутренней секреции

погруженных в раствор, выделяются пузырьки. Если одним из полюсов, погруженных в раствор никелевой соли, служит железный предмет, то при пропускании тока на нем осаждается тонкий слой никеля. Откуда берутся газовые пузырьки; никель и т.д.? Теория электричества доказывает, что в растворе находятся частицы никеля, заряженные положительным электричеством, т.е. положительные никелевые ионы, и эти-то ионы притягиваются отрицательным полюсом, погруженным в раствор. Такие точно ионы, только не никеля, а других более легких металлов (главным образом калия и кальция), находятся постоянно и в нервном волокне и переносятся вместе со своими зарядами вдоль него. Однако есть еще одна небольшая разница между электрическим током в растворе и процессом, совершающимся в нервном волокне. Дело в том, что когда ток идет по раствору, то он в конце концов переносит большие порции вещества от полюса к полюсу и осаждает это вещество на полюсах. В нервном волокне такого осаждения не наблюдается.

Попробую рассказать вам как можно проще, что совершается в нервном волокне. Мне еще не случалось рассказывать самых современных взглядов на этот процесс перед такой сравнительно мало подготовленной аудиторией, как ваша, и потому я не уверен, выйдет ли у меня достаточно понятно.

Вы понимаете, что в настоящем своем ходе исследование не может начинаться всегда с простого, оно невольно связывается с тем, что легче обнаружить или что чаще попадает. Поэтому результаты, добытые исследованием, приходится приводить в порядок и превращать в систему постепенно и с трудом. Тот взгляд на природу электрических явлений в нерве, который я хочу вам сообщить, выработался в результате долгой и кропотливой работы многих ученых и представляет собою обобщение многих тысяч опытов.

Выяснено, что если в какой-нибудь точке нервного волокна скапливается несколько больше положительных ионов, нежели в соседних точках, то состояние этой точки каким-то образом изменяется. Прежде всего понятно, что эта точка поведет себя тотчас же как положительный полюс, будет притягивать к себе отрицательные ионы (анионы) и отталкивать положительные ионы (катионы). Значит, поблизости от этой точки с обеих сторон потечет электрический ток.

Теперь постарайтесь вообразить себе получающееся положение вещей. Если справитесь с этим, вам будет все ясно. Назовем нашу положительную точку мгновенным полюсом. Она начала расталкивать в стороны положительные ионы — это потому, что положительные частицы отталкиваются от положительных. Но сам-то наш мгновенный полюс положителен только

потому, что в нем есть маленький избыток положительных частиц. Очень быстро он разгонит их в стороны и сам останется ни с чем, т.е. перестанет быть мгновенным полюсом. Значит, положение в нерве таково, что всякое нарушение в расположении его ионов, т.е. всякое появление электрического поля, тотчас же уравнивается маленькой перегруппировкой ионов, запас которых в нерве всегда имеется. Уравнивание происходит, как вы сейчас видели, за счет основного свойства одноименных электрических зарядов — отталкиваться друг от друга.

Что произойдет с положительными ионами, оттолкнувшимися от мгновенного полюса? Очевидно, вот что. По соседству с полюсом этих ионов (катионов) было как раз достаточно для равновесия, а теперь явились уплотнители: ясно, что сейчас же и здесь начнется отталкивание, и катионы начнут разбегаться в стороны от этой новой точки. Тем же порядком процесс побежит и дальше наподобие волны, пока не передастся вдоль всего нерва. Итак, электрический процесс в нерве — это волна колебания катионов около их средних положений, которая пробегает вдоль всего нервного волокна. Ученым удалось даже измерить скорость пробегания такой волны. Эта скорость оказалась не слишком велика — около 30 метров в секунду, т.е. около 100 километров в час. Это скорость хорошего поезда на полном ходу.

Вот какова природа того сигнала, которым нервная система пользуется для связи с окружающими частями. Не знаю, стоит ли останавливаться на тех физиологических выводах, которые вытекают из рассказанного; те из вас, кто ближе интересуется этим, смогут с большою легкостью вывести из этого взгляда все многочисленные законы деятельности нерва, которые до сих пор установлены наукой, и даже предсказать некоторые новые законы. Так, например, из этой теории следует, что нервное волокно в состоянии возбуждения не одинаково проводит электрический ток по обоим направлениям, т.е. может действовать как выпрямитель тока, или детектор. Кое-что в этом направлении было открыто недавно русским ученым Вериги, но у нас нет времени останавливаться на этих интересных вопросах.

Волна, пробегающая по нерву, носит название нервного возбуждения. Посмотрим теперь, как оно действует на мышцу.

Уже во второй лекции я говорил о том, как происходит возбуждение мышцы; теперь прибавлю, что мышца возбуждается каждый раз, как до нее доходит по нерву волна нервного возбуждения. Что мышца под влиянием возбуждения сокращается и производит работу, это вы помните. Мышца в здоровых условиях никогда не возбуждается самопроизвольно; она лишена права предпринимать что-нибудь сама по себе. Все мышечные сокращения совершаются послушно по команде высшей власти — центральной нервной системы.

К каждой мышце, к каждому волоконцу тянется от спинного мозга сплошной провод, называемый двигательным нервом. Поскольку спинной мозг может со своего места управлять и распоряжаться движениями всех мышц тела, постольку можно представлять себе те концы нервов, которые сосредоточены в спинном мозгу, чем-то вроде клавиатуры, системы кнопок, но которые нужно нажимать, чтобы производить движения мышц. Мы скоро увидим, что спинной мозг один не справляется с такой сложной задачей, и что основную роль в дирижировании оркестром мышц берет на себя головной мозг.

Мы с вами все время, пока говорили о нервном волокне, могли рассуждать как физики. К сожалению, скоро нам придется сойти с этой уверенной и точной позиции. Сейчас увидите, почему.

Каждое нервное волокно двигательного нерва начинается в спинном мозгу окончанием — нервной клеткой. Нервная клетка основательнейшим образом связана со своим волокном и очень значительно влияет на его образ действий. Прежде всего от целостности клетки зависит самое существование волокна. Если нервное волокно перерезать, то происходят две вещи: отрезанная от клетки часть быстро отмирает, а часть, оставшаяся в связи с клеткой, начинает расти, проникать в изоляционную оболочку отрезанной и умершей части и часто дорастает снова до прежнего конца нерва, т.е. восстанавливает его работоспособность. На этом, между прочим, основан способ сшивания нервов после их поранения; пока целы клетки, нерв может срастись именно тем порядком, какой я сейчас рассказал.

Вторая особенность волокна, стоящего в связи с клеткой, такова. Само по себе нервное волокно может проводить возбуждение по любому направлению. Клетка пропускает через нерв возбуждения только в одном определенном направлении. Совокупность клетки и ее волокна называется нейроном; так вот, благодаря присутствию клетки, нейроны разделяются на две категории: одни проводят возбуждение только от спинного мозга на периферию, другие только наоборот — от наружных частей тела к спинному мозгу. Нейроны первого типа называются двигательными, а возбуждения, идущие по ним, — центробежными. Нейроны второго типа суть чувствительные, а их возбуждения — центростремительные.

Третья особенность нейрона по сравнению с отдельным волокном заключается в том, что волокно само по себе есть такой же вполне безличный проводник возбуждения, как проволока — проводник тока. В противоположность этому нейрон есть самостоятельный источник возбуждения. Это есть готовая рабочая единица (если хотите, проволока вместе с батареей). Вся нервная система состоит из таких мельчайших самостоятельных единиц; думаю, что лишним будет и указывать вам, как малы нервные клетки и

какое громадное количество нейронов составляют нашу нервную систему. В ней многие миллиарды самостоятельных нейронов.

Мы установили простейшую форму нервного аппарата, теперь попробуем установить такую же простейшую форму нервного механизма. Оказывается, нейроны и работают очень однообразным способом, и основной тип их деятельности нетрудно установить. Пока напомним, что возбуждение двигательного нейрона приводит в действие определенную мышцу; возбуждение чувствительного нейрона появляется тогда, когда органы чувств (зрение, слух, а особенно осязание) воспринимают какое-нибудь внешнее впечатление и посылают о нем телеграфное донесение в центр.

Как только на какой-нибудь орган чувств подействовало внешнее впечатление — свет, звук, прикосновение и т.д., так сейчас же по нервному волокну в мозг устремляется соответствующий сигнал. Следом за этим сигналом с большой правильностью обыкновенно наступает ответный сигнал в двигательный нерв, который заканчивается ответным движением животного. Проще всего наблюдать такие ответные движения на низко организованном животном, например, на лягушке. Для таких опытов лягушку обезглавливают. Делается это вот по какой причине. Я уже сказал вам, что нервные клетки всех нейронов, связанных с наружными органами, — и чувствительных, и двигательных — сосредоточены в спинном мозгу и около него. Головной мозг есть добавочная усложненная надстройка, которая сама по себе не стоит в прямой связи ни с одной частью тела. Поэтому, если мы хотим проследить в чистом виде работу спинномозговых нейронов, мы должны отделить их от вмешательства головного мозга. Млекопитающие не выдерживают обезглавливания, но лягушка без головы живет еще некоторое время, и потому с ней работать удобнее всего. Большую часть головного мозга можно удалить без вреда для жизни и у птицы (например, у голубя), но там это технически труднее и не получается так чисто.

Подвесим обезглавленную лягушку за верхний конец тела и затем ушипнем ее за заднюю ногу. Нога тотчас же отдернется. Тот же эффект получится, если к ноге поднести зажженную спичку, окунуть ногу в кислоту и т.д. В нашу задачу не входит описывать, что будет происходить во всех подобных случаях с лягушкой; мы лучше воспользуемся только что описанным простейшим примером, чтобы разобрать механизм, с помощью которого происходит отдергивание лягушечьей ноги.

Прежде всего это несомненно механизм, а не проявление воли или чего-нибудь в этом роде. Отдергивание наступает с чисто машинной правильностью, а говорить о сознании или воле у обезглавленной лягушки было бы слишком смело.

Во-вторых, отдергивание происходит всякий раз в ответ на раздражение лягушечьей ноги тем или другим способом; это есть ответное, отраженное движение. Отражение по латыни называется рефлексия, поэтому такие отраженные движения называют рефлексами. Так как явным образом в опыте с лягушкой головной мозг был исключен, то отдергивание ноги надо назвать спинномозговым рефлексом.

Есть и у человека такие же машинообразные, совершенно непроизвольные спинномозговые рефлексы. Кто из вас не бывал на приеме у врача, который ударял молоточком по вашему колену под коленной чашкой, чтобы вызвать непроизвольное вскидывание ноги? Кто из вас не замечал, что зрачок глаза суживается сам собою, когда на него падает яркий свет, и расширяется в темноте? Это движение уже вполне непроизвольное, потому что мы сами не ощущаем его и не можем при всем желании добровольно повторить. Кто из нас может по произволу чихнуть, долгое время удерживать кашлевое движение? Если кто из слушателей имел дело с пьяницами, то он знает еще один вид рефлекса: от раздражения глотки пальцем или пером наступает рвотное движение. Всеми этими и очень многими другими рефлекторными движениями заведует вполне самостоятельный спинной мозг.

Итак, при рефлексе возбуждение передается по своего рода дуге, которая так и называется рефлекторной дугой. В случае, например, зрачкового рефлекса оно начинается в глазу под действием света, передается по зрительному чувствительному нерву в верхний конец спинного мозга (продолговатый мозг), отсюда по двигательному нерву возвращается в глаз к маленькой кольцевой мышце, управляющей движениями зрачка, и вызывает суживание последнего. На рис. 50 изображена в виде схемы рефлекторная дуга простого спинномозгового рефлекса. Вы можете проследить ее на всем протяжении от органа чувств последовательно через два нейрона к мышечному волокну.

Что же представляет собою спинной мозг, о деятельности которого мы сейчас говорили? Это есть жгут, который расположен внутри

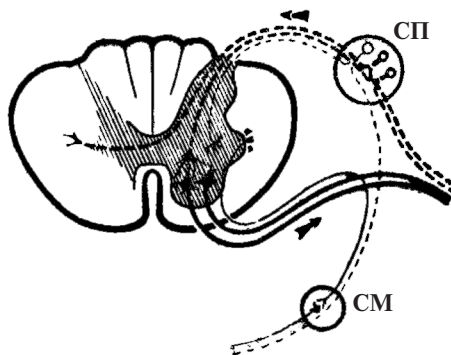


Рис. 50. Схема рефлекторной дуги. Слева — разрез спинного мозга, направо — нервные пути. Жирный пунктир — центростремительный (чувствительный) нейрон, жирные сплошные линии — центробежный (двигательный) нейрон

костного канала, образуемого кольцами позвонков. Он простирается по этому каналу от самого черепа до верхнего поясничного позвонка. Весь спинной мозг представляет собою громадное сплошное скопление нервных клеток, принадлежащих по преимуществу к двигательным нейронам. Если перерезать спинной мозг поперек (рис. 51), то на этом разрезе скопление нервных клеток будет выглядеть как коричневое пятно в форме бабочки посередине разреза. По краям окажется блестящее желтоватое вещество. Посмотревши такой разрез под микроскопом, вы убедитесь, что желтоватое вещество представляет собою массу изолированных нервных волокон, которые наш разрез пересекает в поперечном направлении. Разрез этих волокон необычайно напоминает по виду разрез телефонного кабеля.

Расскажу вам один интересный факт, объясняющий значение изолирующих оболочек нервных волокон. Эти оболочки состоят из жироподобного вещества, которое и придает нервному волокну белый блестящий вид. Это вещество, как и все вообще жиры, плохо проводит электричество; недаром проводники для токов в миллион вольт изолируют касторовым маслом. Теперь вы знаете, что жиры растворяются в спирту, эфире, хлороформе, бензине и т.д. Действительно, чем вы будете выводить жирное пятно с одежды или скатерти? Очевидно, что теми же свойствами растворимости обладает и оболочка нервного волокна.

Что произойдет, если выпить большое количество спирта или эфира, которые через кровь тотчас же придут в соприкосновение с оболочками нервных волокон? Эти оболочки (несколько упрощая событие для ясности) начнут растворяться, и их изолирующие свойства ослабеют. Произойдет то же, что случается, когда портится изоляция любой сложной электрической проводки: выйдет путаница токов. Мышцы будут приходить в движение не там и не тогда, когда нужно, донесения от органов чувств будут перемешиваться и вызывать неподходящие рефлексы и т.д. Вы посмотрите и скажете: человек пьян.

Вернемся к спинному мозгу. Его коричневое вещество (называемое иногда еще серым веществом спинного мозга) есть скопление клеток, связанных главным образом с двигательными нервами. На рис. 51 видно, как эти двигательные нервы выходят из передних концов серого вещества и отправляются каждый к своей мышце. Чувствительные подходят к задней стороне спинного мозга, и их клетки находятся не внутри спинного мозга, а около него по сторонам.

Спинной мозг заведует рефлексам. Кроме простых рефлексов он больше ничем не заведует. Все более сложные движения и действия, которые требуют одновременного и упорядоченного участия многих мышц, превосходят способности и возможности спинного мозга. Он действует

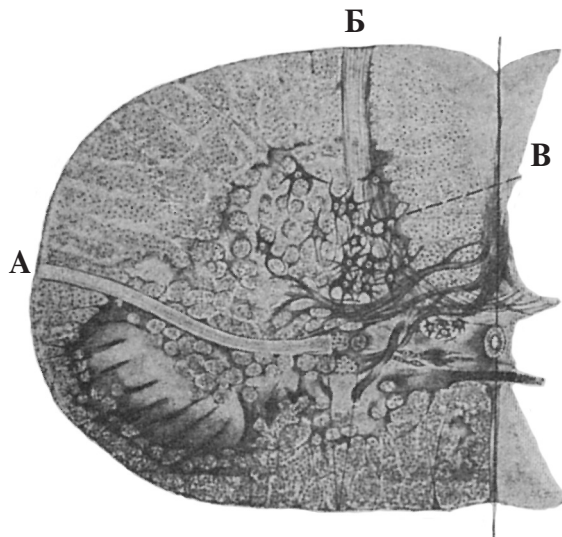


Рис. 51. Поперечный разрез половины спинного мозга, несколько схематизированный. А – выходящий пучок двигательных нервов, Б – входящий пучок чувствительных нервов, В – нервные клетки (по Дейтерсу)

с точностью и однообразием автомата: за всем же тем, что выходит за пределы этого однообразия, он вынужден обращаться выше, призывая на помощь головной мозг.

Очень большая часть наших движений и действий составляет из простых рефлексов, гораздо большая часть, чем многие из вас думают. Действительно, простые рефлексы не только произвольны (т.е. не только двигательная половина их протекает вне сознания), но они и незаметны, так как чувствительная их часть тоже в сознание не попадает. Мы в большинстве случаев не обращаем на них внимания и не отдаем себе в них отчета. Между тем попробуйте вспомнить, как много мышц занято, например, при самой простой ходьбе. Мы потратили полторы лекции на перечень главнейших мышц человеческого тела, а ведь все эти мышцы так или иначе участвуют в акте ходьбы. Как бы вы растерялись, если бы вам пришлось сознательно управлять каждой из этих мышц в отдельности! Вероятно, вы не смогли бы сделать ни одного шага, а между тем вы не только совершенно не думаете о своих ногах, когда идете, но еще и можете в это время заниматься каким-либо совершенно посторонним делом: читать книжку или ухаживать за спутницей.

Попытаемся теперь систематизировать те отрасли управления действиями, которые выпадают на долю головного мозга. Обыкновенно

принято для начала описывать внешний вид и строение головного мозга, а потом уже переходить к его деятельности. При таком способе изложения головной мозг оказывается чрезвычайно прихотливым и сложным, сбивает всех с толку, и в нем ничего нельзя понять. Поэтому я пойду по другому пути, конструктивно, и начну с того, что расследую, что собственно приходится делать головному мозгу, и как в нем постепенно, исторически, развивались необходимые для этого приспособления. Тем из вас, кому не терпится все-таки посмотреть внешний вид головного мозга, предлагаю для утешения рис. 52.

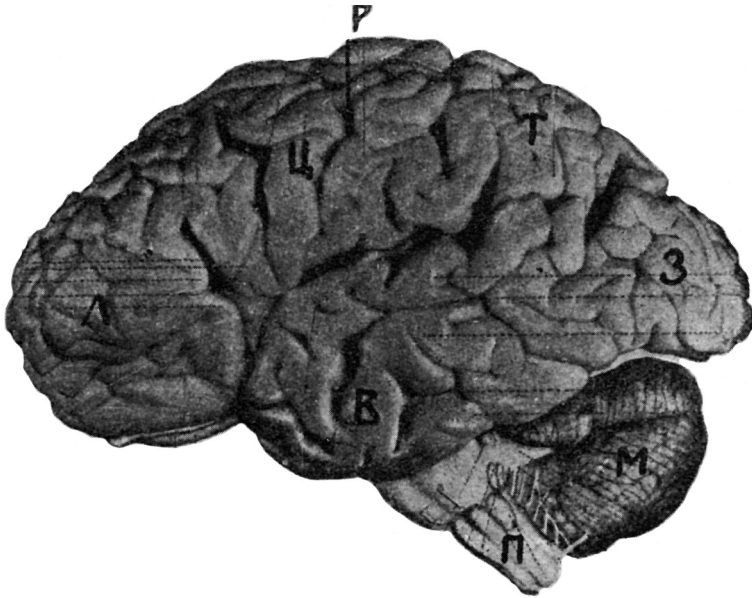


Рис. 52. Вид головного мозга человека с левой стороны.

Л — лобная доля левого полушария

- В — височная " — — — "*
З — затылочная " — — — "
Т — теменная " — — — "
Ц — центральная " — — — " (местонахождение центров движения)
Р — Роландова борозда
М — мозжечок
П — продолговатый мозг (по Флатау)

Очевидно, что центральная власть, как бы сложно она ни была организована, все равно неизбежно будет заключать в себе части, получающие сведения с периферии, и части, отдающие на периферию распоряжения. Следовательно, и в головном мозгу мы должны первым делом искать чувствительный и двигательный аппарат.

Вы понимаете, какая бы дезорганизация получилась, если бы верховный орган (все равно, мозг, или правительство, или зав.) вздумал отдать распоряжение непосредственно на периферию через головы ближайших подчиненных. Это избегнуто в нервной системе тем, что ни одно нервное волокно из головного мозга не заходит дальше спинного мозга, и только этот последний имеет прямые провода к мышцам и органам тела. Конституция человеческой машины чрезвычайно строга, и ни один проситель из любой части тела не имеет возможности непосредственно сноситься с верховной властью, вообще сноситься с кем бы то ни было иначе, как через свой спинномозговой губ. отдел. Белое вещество спинного мозга, которое мы обнаружили на его разрезе, и есть система проводов от спинного мозга к головному и обратно. Вы помните, что чувствительные клетки находятся в связи с задними рогами серого вещества спинного мозга, а двигательные клетки лежат в его же передних рогах; поэтому, очевидно, восходящие пути спинного мозга начинаются от задних рогов серого вещества, а нисходящие пути спускаются к передним рогам.

В головном мозгу человека находится справа и слева по одному главному центру: чувствительному и двигательному. Так как уже было сказано, что нервная система состоит только из нейронов, сооруженных по одному общему плану, то ясно, что и эти центры представляют собою скопления клеток, нервные хвосты которых спускаются и поднимаются по белому веществу спинного мозга. Те из слушателей, которые все это время разглядывали внешний вид головного мозга, могут разочароваться: ни тех, ни других центров снаружи не видно, они лежат очень глубоко в толще мозга и их увидеть можно только разрезав мозг. Для лиц, которые ближе интересуются анатомией мозга, скажу, что главные двигательные центры головного мозга называются «бледными телами», а главные чувствительные центры — «зрительными буграми». И те, и другие видны в разрезе на рисунке 53. Добавлю еще, что каждый из этих центров, как правый, так и левый, стоит в связи с обеими сторонами спинного мозга — и правой и левой. Около каждого из них группируются еще мелкие центры сходного назначения, носящие каждый свои особые названия, но мы не будем останавливаться на них и для рассмотрения объединим их мысленно с главными центрами.

Теперь подумайте, что бы было, если бы эти объединяющие центры действовали совершенно независимо друг от друга, не сверяясь взаимно и

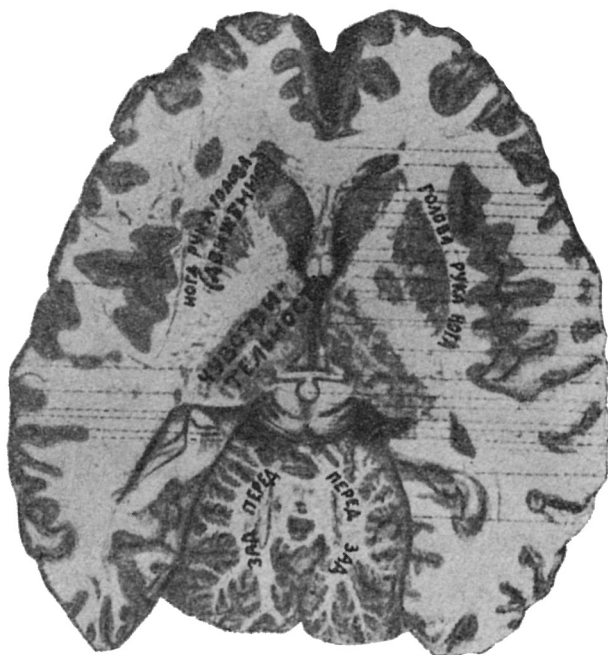


Рис. 53. Срез головного мозга спереди – сверху назад – (в направлении околыша картуза). Наверху – двигательные центры, посередине – чувствительные, внизу – согласующие центры старого мозга (по Флату)

не согласуя своих отправлений друг с другом? Очевидно, что там, где дело восходит от простого машинообразного рефлекса к взаимодействию сотен мышц, необходим самостоятельный и немалый центр, предназначенный специально для согласования (как говорят, для координации) отдельных нервных отправлений друг с другом. Такой центр должен, конечно, стоять в связи как с двигательными, так и с чувствительными центрами спинного мозга, чтобы иметь возможность совершенно независимо регулировать их действия. Такой центр в самом деле имеется в головном мозгу человека. Этот главный согласующий или координационный центр головного мозга есть мозжечок.

Итак, пока ничего сложного и страшного. Мы установили, что связь головного мозга со спинным удобно укладывается в четыре нервные проводки. Это суть: двигательная проводка от двигательного центра вниз; чувствительная проводка – кверху к чувствительному центру, и пара проводок обоих направлений, соединяющих спинной мозг и мозжечок. Все

эти проводки в действительности и имеются в спинном мозгу; они удобно изображены в виде схемы на рис. 54.

Как раз в таком виде существует головной мозг у просто устроенных низших позвоночных, например, у лягушки. Он состоит из двух пар бугров, за которыми следует одно непарное утолщение. Передние два бугра суть двигательные центры, следующие два — чувствительные центры, наконец, последнее утолщение — согласующей центр или лягушечий мозжечок. У человека, как уже сказано, эти центры, кроме только мозжечка, скрыты глубоко под новыми для нас обширными мозговыми образованиями, о которых речь пойдет дальше.

Вот как усложняется в кратких словах рефлекторная схема после включения в нее головного мозга. Вместо простой рефлекторной дуги, всего из двух звеньев, у нас получается более сложная, состоящая, по крайней мере, из четырех звеньев — двух центробежных и двух центростремительных.

Общее правило работы сложной рефлекторной дуги, по-видимому, таково. Все те положения, с которыми

спинной мозг в состоянии справиться сам, он и разрешает самостоятельно, но, как мы видели, эти положения немногочисленны. Они составляют, если хотите, тот фон, на котором совершаются все организованные движения и который создает возможность для таких движений. Все остатки от тех возбуждений, которые, поступив в спинной мозг, отчасти уходят обратно по короткой дуге, направляются в центры головного мозга, и уже с их помощью возникают ответные движения более или менее сложного типа.

Существуют еще до сих пор разногласия по вопросу о том, как действуют нейроны головного мозга на нейроны спинного. Всего вероятнее, что настоящие двигательные побуждения исходят именно из спинного мозга, а головной мозг либо умеряет, затормаживает эти побуждения,

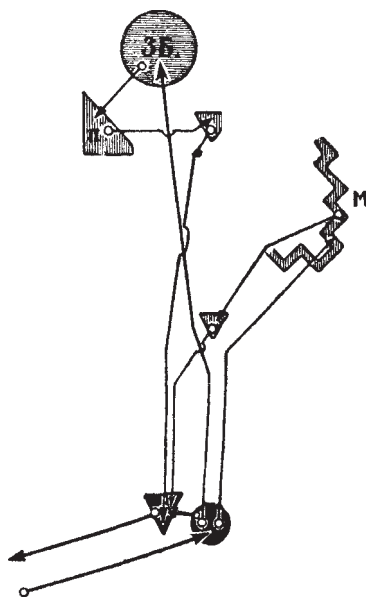


Рис. 54. Схема проводящих путей старого головного мозга. ЗБ — зрительный бугор, П — бледное тело, М — мозжечок. Треугольники — промежуточные ядра. Черные треугольник и круг внизу изображают центры спинного мозга с выходящими из них наружу нервами — центростремительным и центробежным

либо наоборот, перестает тормозить их и обеспечивает им этим возможность проявиться в полной силе. Замечено, что у обезглавленной лягушки рефлекс всегда проявляется энергичнее, нежели у здоровой, где тормозящее участие головного мозга не исключено. Вы можете и из вашего повседневного опыта убедиться, что головному мозгу (и связанному с ним сознанию) легче затормозить какой-нибудь рефлекс, чем произвольно вызвать его. Каждый знает, что можно некоторое время усилием воли удержаться от чихания, икоты и т.д., но искусственно икнуть или чихнуть никому не удастся. (Чихание актеров — всегда подделка, только похожая по звуку и гримасе). Существуют заболевания, при которых двигательная связь головного мозга со спинным нарушается, вследствие чего получаются параличи. При параличе такого типа, когда связь со спинным мозгом у мышцы сохранена, т.е. спинномозговые рефлексы не нарушены, всегда мышцы пребывают в напряженном, натянутом состоянии, и простые рефлексы бывают даже усилены. Если перерезан нерв, ведущий к мышце, так, что мышца теряет связь со спинным мозгом, то она делается дряблой, и простые рефлексы исчезают совсем.

Как происходит передача возбуждения от нейрона к нейрону, до сих пор точно не установлено. Некоторые считают, что тончайшие волокна, из которых состоит стержень нервного волокна, тянутся без перерыва от одного нейрона к другому сквозь нервную клетку, так что рефлекторная дуга есть непрерывный путь от органа чувств до самой мышцы. Слишком много, однако, особенностей у нервной клетки, чтобы можно было безоговорочно согласиться с таким мнением. Мы уже видели, что нервная клетка пропускает возбуждение только по одному направлению. Дальше оказывается, что толчок возбуждения, даваемый нервной клеткой, может очень сильно отличаться от того, который пришел в эту клетку по волокну другого нейрона. Оно может оказаться сильнее или слабее, может оказаться прерывистым и т.д. По всему выходит, что возбуждение, поступающее в нервную клетку из другого нейрона, не передается ею дальше чисто механически, а служит только сигналом, вызовом, который приводит в действие соответственные силы клетки и заставляет ее разразиться собственным толчком возбуждения. Кроме того, одни только спинномозговые, простые рефлекс отличаются той машинной правильностью, которая позволяет предположить на всем протяжении рефлекторной дуги стойкую связь. Рефлекс головного мозга отличаются своим разнообразием и приспособляемостью. Мы увидим дальше, что многие явления деятельности головного мозга можно объяснить только, если допустить, что в нем существуют переключатели, и что его устройство допускает временные связи между отдельными нейронами. Как выглядят эти временные связи, мы еще совершенно не знаем.

Происходит ли здесь соприкосновение между отростками нейронов, или возбуждение передается от одного к другому как-либо иначе — решение этого вопроса есть дело науки будущего.

Я пока ничего не говорю вам о природе тех центростремительных сигналов, которые поступают в мозг из органов чувств и вызывают ответные двигательные рефлексы. Вообще говоря, все хорошо известные вам органы чувств принимают участие в работе рефлексов: и то, что мы видим, и то, что мы слышим и осязаем и т.д., может послужить, да и служит постоянно, побудителями рефлекторных движений. Есть, однако, одна чувствительная система, о которой в обиходной жизни знают совсем мало; а между тем как раз эта система имеет наибольшее влияние на движения человека. Те органы чувств, которые входят в состав этой системы, называются в физиологии проприоцептивными органами; нам удобнее будет их называть по-русски, хоть длиннее, но понятнее, — органами мышечно-суставного и пространственного чувства.

Эти органы разбросаны по всему телу. Больше всего их в сухожилиях мышц и на поверхности сочленений. Попадают они и в самих мышцах. Это мельчайшие нервные окончания, видимые только под микроскопом.

На долю органов пространственного чувства выпадает немаловажная задача — сообщать в мозг о тех движениях и положениях, которые принимает каждая часть человеческого тела. Каждый из вас может с закрытыми глазами (т.е. не проверяя себя зрением) сделать довольно точно любое движение, подписать свою фамилию, определить форму предмета, который дан вам в руки и т.д. Все это возможно за счет рассеянной повсюду армии органов пространственного чувства. Эти органы имеют в спинном мозгу свой собственный нервный кабель, который направляется к зрительному бугру. Существует болезнь, называемая спинной сухоткой, при которой как раз этот нервный путь разрушается; и сейчас же вслед за его разрушением наступает очень тяжелое расстройство движений. Такое расстройство всегда одного и того же порядка: ни сила, ни быстрота движений при этом заболевании не страдают, но совершенно нарушается управление движениями, способность соразмерять их. Тогда человек теряет устойчивость, у него нарушается походка, шаги делаются непомерно большими, движения рук — порывистыми и неуверенными. Вот по этим нарушениям вы и можете судить о том, что делают органы пространственного чувства у здорового человека.

В вашем инструкторском обиходе очень употребительно выражение «мышечная память». Я пользуюсь случаем, чтобы указать вам на одно недоразумение, связанное с этим словом. Часто говорят о зрительной или слуховой памяти, подразумевая под этим память, связанную с тем или другим органом чувств. В этом же смысле можно говорить и о мышечной

памяти как о памяти, связанной с деятельностью мышечно-суставного чувства. Вам могут предложить ощупать с закрытыми глазами какую-нибудь палочку и затем не открывая глаз отметить ощупанную длину на другой палочке. Память, которую вы обнаружите при этом, будет, конечно, памятью мышечно-суставного чувства, или мышечной памятью. Совсем другое подразумевают под этим же словом, когда говорят, что то или другое рабочее движение, например, опиловка, усваивается учеником при посредстве мышечной памяти. Механизм, с помощью которого происходит усвоение трудовых навыков, гораздо сложнее и всегда основан на работе всего мозга в целом. Это уже не мышечная память, а общая способность к усвоению, и ее средоточие лежит совсем не в органах мышечного чувства и не в их центрах, а в центрах общедвигательных и согласующих.

В системе суставно-мышечной и пространственной чувствительности есть один аппарат, который устроен особенно тонко и сложно и который служит как бы главной проверочной обсерваторией для пространственного чувства. Этот аппарат помещен в черепе, в ближайшем соседстве с органом слуха с каждой стороны, и представляет собою две системы тонких трубочек, идущих в разнообразных направлениях и наполненных жидкостью. Эта система трубочек действует в своем роде как ватерпас, только вместо пузырька воздуха отметчиком в нем служит изменение давления жидкости на стенки трубок. Этот аппарат есть главный орган равновесия. Над ним было проделано множество интересных опытов как с животными, так и с человеком, но, к сожалению, у нас слишком мало времени, чтобы упоминать о них.

Мы еще не закончили обзор строения головного мозга. Я говорил вам, что в той форме, какая была описана до сих пор, головной мозг обнаруживает полную работоспособность и применяется к жизни у некоторых низших позвоночных, каковы, например, земноводные. У человека он осложнен еще одним дополнительным этажом, который имеется в готовой форме только у млекопитающих и осложняет собой рассказанную до сих пор систему мозга.

Мы установили, что мозг птиц и земноводных состоит из самостоятельных центров: двигательного, чувствительного и согласующего, причем каждый из центров имеет собственную связь со спинным мозгом. Новое образование, к описанию которого я перехожу сейчас, у человека разрослось до такой степени, что совершенно закрыло собою и заростило все описанные до сих пор части мозга. Все, что вы видите на рис. 52, относится исключительно к этому новому мозгу, который известен под названием полушарий мозга. О них я сегодня не успею сказать ничего; поэтому рассмотрение их откладываю до следующей лекции.

Лекция 8

Товарищи! В прошлой лекции мы не успели закончить даже того краткого обзора нервной системы, какой я намеревался сделать. Даже то немногое, что вам для вашей практики нужно было бы знать, уложилось бы свободно в целый курс, специально посвященный нервной системе. Так как такого курса мы вам дать не в состоянии, то приходится мириться с тем, что сведения о мозге и его работе, какие вы здесь получите, будут очень отрывочны и неполны.

Я начал рассказывать вам о полушариях мозга, которые в сколько-нибудь явственной форме появились только у млекопитающих, но затем быстро развились, подчинили себе все остальные части мозга и приобрели у человека безусловно преобладающее значение.

Полушария мозга устроены не так, как те более старые центры, о которых говорилось в прошлый раз. В них нет отдельных ядер, отдельных скоплений нервных клеток. Все полушария мозга покрыты снаружи сплошным слоем нервных клеток в $\frac{1}{2}$ см толщиной. Этот слой, облегающий весь головной мозг наподобие коры, так и называется корой полушария мозга. На разрезе головного мозга кора полушарий выглядит как шоколадно-коричневый слой, выстилающий все борозды и извилины поверхности мозга (рис. 53). Протяжение этого слоя очень велико: в нем одном в несколько раз больше нервных клеток, чем во всех остальных частях нервной системы, вместе взятых. Рис. 55 дает понятие о том, как выглядят под микроскопом и как располагаются в мозговой коре нервные клетки.

Кора полушарий настолько явственно преобладает у человека над всеми прочими частями мозга, что долгое время только о ней одной знали что-нибудь определенное. Она была изучена раньше и подробнее всех других отделов мозга, и если я сейчас позволил себе отодвинуть ее на самое последнее место, то только благодаря новейшим исследованиям, позволившим установить естественный порядок развития и взаимного подчинения всех частей нервной системы. Поэтому же будет разумнее, если я и самую кору полушарий расскажу вам не в том порядке, в каком она изучалась, и не в том, в каком ее обычно описывают, а в наиболее удобном для той схемы, которой мы держались до сих пор.

Кора полушарий так же, как и нижележащие подчиненные центры, сосредотачивает в себе двигательные и чувствительные отделы. Здесь, правда, они уже не лежат отдельно, а расположены рядом без резких границ и, может быть, даже заходят друг на друга. При этом обнаруживается интересная разница между устройством чувствительных и двигательных отделов коры.

Чувствительные отделы коры не связаны не только с органами чувств (как это было в чувствительных центрах старого мозга — зрительных буграх), но даже и со спинным мозгом. Они, если можно так выразиться, еще больше удалены от жизни, чем центры старого мозга. Все, что они имеют, — это прохода от всех чувствительных отделов старого мозга, т.е. зрительных бугров и чувствительной части мозжечка. Эти отображения низших чувствительных центров занимают в коре полушарий очень большое, преобладающее место. Чувствительные отделы мозжечка отображаются по преимуществу в лобных долях коры, а зрительные бугры — почти во всей остальной ее части. Это изображено схематически на рисунке 56.

Еще нагляднее представлено то же отображение на рис. 57. Там все центры чувствительности надписаны курсивом. Вы видите на этом рисунке центр зрения (в затылочной доле), центр слуха (в височной доле); что касается осязательного и болевого центра, то он расположился очень широко в центральной доле на заднем берегу глубокой борозды, называемой Роландовой бороздой. На рисунке нанесены названия частей тела, чувствительные центры которых лежат в соответствующем месте коры.

Что касается двигательного центра коры, то он повел себя совсем непослушно и проявил исключительное нежелание считаться и согласоваться с чем бы то ни было из состава старого мозга. Он никак не связан ни с главным двигательным центром старого мозга — бледным телом, ни с двигательными отделами мозжечка. Напротив, он проложил себе совершенно независимый особый путь прямо к спинному мозгу, который сносится таким образом непосредственно с двигательными спинномозговыми клетками. Этот путь тоже хорошо виден на рис. 56. Он называется пирамидный путь. На рисунке 57 двигательный центр коры изображен надписями, сделанными печатными буквами. Он лежит на переднем берегу уже упоминавшейся Роландовой борозды и занимает довольно большое пространство. Вы можете видеть, что части этого центра, относящиеся к отдельным областям тела, лежат как раз бок о бок с соответствующими частями осязательно-болевого центра коры. Интересно, что центры верхних частей тела лежат в мозгу ниже всего (голова, язык), а центры ног расположены на самом верху.

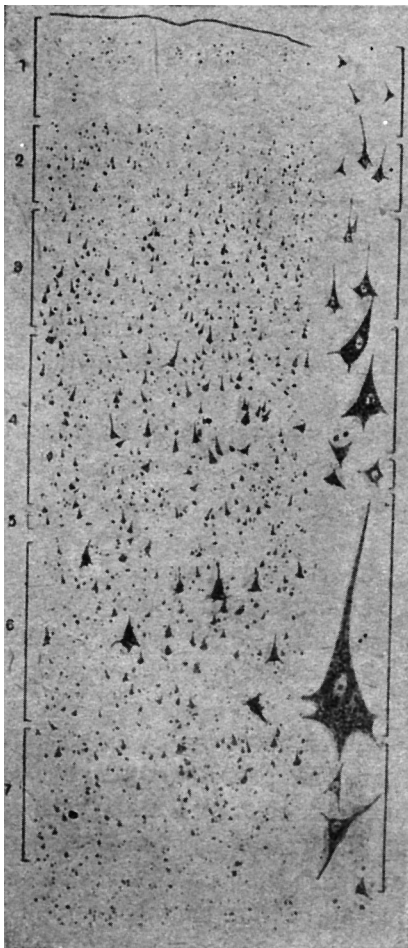


Рис. 55. Кора мозговых полушарий под микроскопом. Черные пятнышки — нервные клетки. Справа — отдельные клетки при большем увеличении (по Кэмпбеллю)

У коры полушарий есть еще одно странное, до сих пор необъясненное свойство. Именно: все центры левой половины тела находятся в правом полушарии мозга, и наоборот. Все проводящие пути мозговой коры рано или поздно продельвают по дороге перекрест из одной стороны в другую. Таким образом, центры, заведующие письмом и вообще деятельностью правой руки, находятся в левом полушарии мозга. По неясным еще причинам в левом же полушарии находятся и центры речи, так что левое полушарие во многих отношениях внутренне тоньше организовано, нежели правое. Если в левом полушарии произойдет разрушение мозгового вещества (за счет ранения, кровоизлияния и т.д.), то очень легко может нарушиться речь, понимание речи, способность письма, чтение и т.д. При поражении правого полушария и его нервных путей происходят обычно только параличи левой половины тела.

Пирамидный путь, т.е. двигательный путь нового мозга, развился у животных позднее всех остальных мозговых частей. У каждого ребенка этот путь развивается тоже позднее всех остальных. Поч-

ти все проводящие пути мозга заканчивают свое развитие уже к моменту рождения; между тем пирамидный путь бывает готов к действию только на пятом, шестом месяце жизни ребенка. Именно тогда, когда пирамидный путь дозревает, обогащаются двигательные способности ребенка. Открытие новых линий знаменуется тем, что ребенок начинает обучаться ходить и говорить.

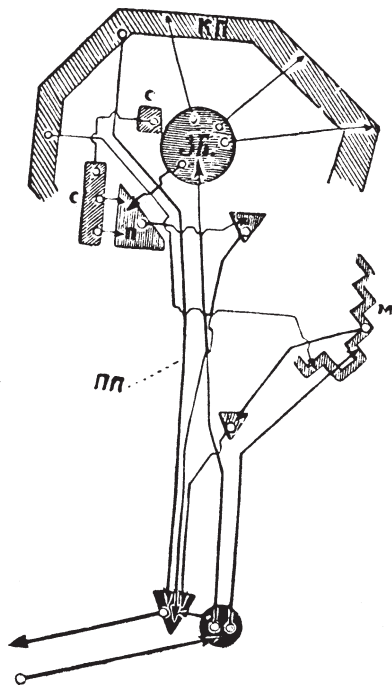


Рис. 56. Проводящие пути нового мозга. КП — кора полушарий, прочие обозначения — те же, что и на рис. 54. ПП — пирамидный путь

В прежнее время не знали еще о деятельности центров старого мозга; их считали в лучшем случае промежуточными пунктами, зачем-то лежащими на путях мозговых полушарий. Еще меньше подозревали о том, как велико значение этих старых центров для движений и поведения человека.

Это значение не вполне очевидно и недостаточно изучено еще и сейчас. Между тем, оно очень велико и нельзя не сказать о нем хотя бы и очень коротко.

Вы уже видели, что спинномозговые рефлексы составляют самый элементарный, самый общий фон человеческого движения. С другой стороны, хотя бы из рис. 57, вы можете вынести впечатление, что деятельность полушарий головного мозга отличается особенной гибкостью и многогранностью и дает движениям окончательную шлифовку. Опыты над корой полушарий показали, что в ней имеется чрезвычайно

тонкое расчленение и приспособленность. У собаки легко можно обнажить двигательную область мозговой коры и раздражать разные ее точки электрическим током. Каждое такое раздражение влечет за собою движение какой-нибудь части тела или мышцы собаки (именно этим способом были получены первые «географии» двигательного центра собаки); и буквально каждая новая точка коры заведует особыми мышцами и движениями. Чего-либо, хотя бы отдаленно напоминающего такое тонкое расчленение, в двигательных центрах старого мозга нет.

Итак, задача мозговой коры состоит, очевидно, в заведывании наиболее точной и ответственной составной частью движений. Центры старого мозга дают движению грубый основной контур. Вы знакомы, конечно, с литейным делом; можно было бы сказать, что старый мозг дает отливку движений, а полушария обтачивают и отшлифовывают эту отливку до пределов требуемой точности.

к усвоению трудовых навыков: ведь то и другое управляется совершенно разными отделами мозга.

На этом мы покончим наш более чем краткий обзор нервной системы. После перерыва я расскажу вам о том, как производилось и производится изучение движений человека, в котором заключается ведь основная цель биомеханики.

* * *

Цель биомеханики — изучение и исправление человеческих движений. Между тем, так короток наш курс и так много нужно было рассказать предварительно, что к самому изучению движений мы можем подойти только под самый конец. Все, что излагалось до сих пор, были только предпосылки; это был минимальный необходимый запас сведений, без которого нельзя приступить к изучению движений. В сущности мы успели только разобраться в устройстве человеческой машины; еще научно мы не наблюдали ее в ходу и пока не знаем, как это сделать. Сегодня я хочу рассказать вам, как и какими приемами подходит наука к исследованию движений.

Интерес к движениям появился очень давно, — еще тогда, когда единственным способом наблюдения было наблюдение простым глазом. Такой интерес раньше всего возник у художников, которые стремились как можно вернее изобразить движение на картине. С другой стороны, и те изобретатели, которые хотели добиться устройства летательной машины (а таких было много во все времена), старательно изучали полет птицы, надеясь извлечь из этого какие-нибудь указания. В XV веке жил человек, который был одновременно и великим художником, и великим изобретателем. Его звали Леонардо да Винчи. В его тетрадях сохранилось много записей, рисунков и измерений, связанных с биомеханическими вопросами, и его по справедливости считают первым предком науки о движениях.

Однако еще очень долго после Леонардо да Винчи наука о движениях испытывала большое затруднение оттого, что не имела никакого точного метода для изучения движений. Наблюдения простым глазом слишком недостоверны, особенно когда дело касается быстрых и разнообразных движений. Зарисовки никогда не застрахованы от привнесения в них плода фантазии рисовальщика, которого притом невозможно уличить и проконтролировать. Поэтому вы поймете, какой громадный толчок для научной биомеханики произвело изобретение фотографии.

Фотография вообще научила человека видеть. Человеку постоянно свойственно быть самонадеянным, он воображает, что видит гораздо

больше, чем он видит на самом деле. Фотография разоблачила этот гордый самообман. Я посоветую вам проделать когда-нибудь такой опыт: пойдите в картинную галерею и обратите внимание на изображения какого-нибудь одного предмета, например, лошади. Посмотрите, как рисовали лошадей до половины прошлого века и как их стали рисовать после. Вы увидите замечательную, чрезвычайно большую разницу. После 1850 г. (приблизительно) вы уже не увидите этих вечных коней на двух задних ногах, игриво перебирающих в воздухе передними ногами. Начинают постепенно (хотя еще очень медленно) исчезать и изображения лошадей на скаку с обеими передними ногами, вытянутыми вперед, и задними, вытянутыми назад. Да что и говорить о быстрых, неуловимых движениях лошадей! Возьмите вы изображения спокойно растущего дерева, дома, горы и т.д. И вы увидите и тут разницу между тем, как рисовали их до изобретения фотографии, и как стали рисовать после. Вам ясно станет, как много условности было в старом рисунке. Нынешней осенью, в связи с юбилеем Академии Наук, в Москве было много выставок (самая большая – в Международной Книге), где можно было видеть немало старинных гравюр с изображениями улиц и домов. Вот вы и посмотрите, рисует сейчас кто-нибудь так фальшиво или нет? Я не хочу утверждать, что новые художники учились на фотографии, но факт остается, что с фотографией люди впервые поняли, как плохо они видят. И раз поняв, они уже сделали фотографию неотъемлемой частью всякого научного исследования.

Добавлю еще к сказанному, что мы не только плохо видим, т.е. видим мало, но еще видим зачастую то, чего нет, и не видим того, что есть. Вам всем случалось видеть моментальные фотографии быстрых движений (рис. 58). Разве вам не казалось никогда, что снятое положение совершенно неестественно и никогда не бывает в жизни? Между тем, очевидно, фотография ошибаться не может; эта кажущаяся неестественность есть лучшее доказательство того, как мало можно в биомеханике полагаться на простой глаз.

Для чего я все это говорю вам? Дело в том, что вам в вашей учебной инструкторской практике постоянно придется иметь дело с наблюдением на глаз, и вряд ли когда в вашем распоряжении будут более точные методы. Вот я и хочу хоть немного застраховать вас, сделать вам какую-то предохранительную прививку от того, чтобы вы не слишком переоценивали свою наблюдательную способность. Чтобы быть доказательным, расскажу вам один факт из моей собственной биомеханической практики в ЦИТе.

Был там один инструктор, который изобрел новый способ удара при рубке зубилом и уверял всех, что этот способ самый лучший. А так как по несчастью он имел касательство к обучению курсантов, то и их он поучал своему способу рубки. Способ же этот, как показали точные биомехани-

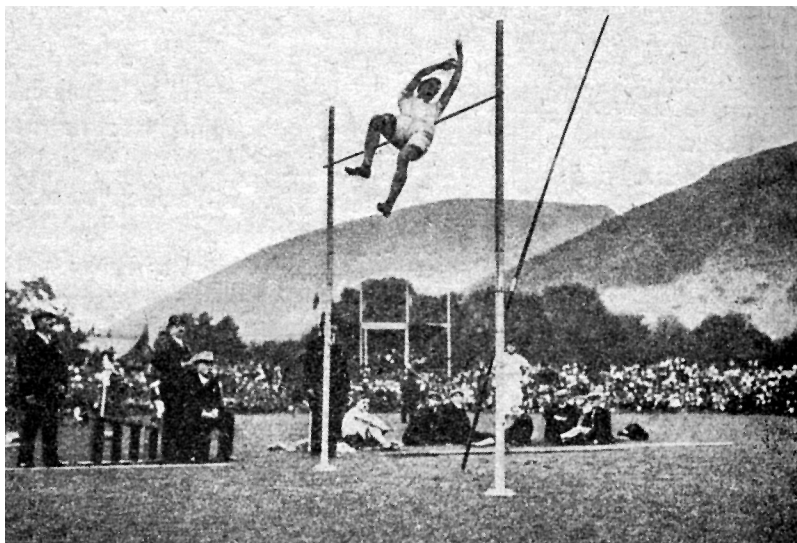


Рис. 58. Моментальный снимок прыжка с шестом. Кто из читателей глазом замечал такие положения тела? (по фото-каталогу Лоренца)

ческие исследования, оказался совсем не таким хорошим, а, наоборот, очень плохим.

Мало того, что этот способ был плох, он был еще и невыполним. Так как вопрос о пригодности этого способа обсуждался в ЦИТе очень остро, а инструктор был человек горячий, то, чтобы убедить его, я много раз фотографировал работу его самого. И вот, из всех этих фотографий оказалось с неопровержимой правильностью, что сам он при рубке делает совсем не те движения, какие ему казалось, что он делает. Доходило до того, что он готов был обвинять лабораторию в фальсификации фотографий, до того расхотелись его собственные двигательные намерения и мышечно-суставные впечатления с тем, что показывал бесстрастный снимок его же самого. Мы еще вернемся к разбору таких снимков в следующей лекции.

Так вот, не извольте возноситься и почаще фотографируйте то, чему будете обучать ваших курсантов.

Изобретение фотографии без малого сто лет тому назад все еще мало помогло делу изучения движения. Первые фотографические пластинки имели два недостатка: они не допускали моментальных снимков, требуя большой выдержки, и, кроме того, не выдерживали хранения, так что их нужно было готовить самому непосредственно перед съемкой и вставлять в аппарат еще мокрыми. Понятно, что при этих условиях можно было

снимать не движения, а только искусственно застывшие позы. Не могу удержаться здесь еще от одного предостережения: когда захотите познакомиться с незнакомым для вас движением (особенно это относится к быстрым размашистым движениям), то не заставляйте показывающего останавливаться среди движения и показывать вам разные последовательные позы. Почти всегда позы эти будут совершенно иные, чем те, которые он принимает во время подлинного движения.

Только с появлением моментальной фотографии возникла возможность запечатлеть на ходу отдельные мгновения быстрых движений. И уже тогда, на заре моментальной фотографии, было проделано одно замечательное исследование движений, которое и по сей час еще может служить образцом.

Это исследование провел не ученый, а американский коннозаводчик Майбридж. Он был чисто практически заинтересован в улучшении конских пород и потому задался целью изучить аллюры лошади для того, чтобы иметь возможность сравнивать их.

Очень громоздкой и сложной была его установка. Майбридж выстроил длинный сарай. Одна из его стен была снабжена открытым наружу прилавком, и на этом прилавке были выстроены в ряд десятка два одинаковых фотографических аппаратов. У каждого из них был моментальный затвор, от которого тянулась длинная нитка. На некотором расстоянии от сарая вдоль него был поставлен такой же длинный забор так, что между обоими образовывалась дорожка; и вот нитки всех затворов тянулись поперек дорожки к забору, где и были привязаны. Все аппараты заряжались фотографическими пластинками; после этого сажали на лошадь верхового и пускали его скакать вдоль забора мимо двух дюжин устремленных на него фотографических глаз. Лошадь грудью разрывала нитки одну за другой, и одни за другим щелкали аппараты, мимо которых она в этот момент пробегала. Получалась серия снимков, воспроизводивших последовательные положения лошади при беге (рис. 59). Вся эта большая и неуклюжая установка была, однако, первой прародительницей современного кино.

Приблизительно в одно время с Майбриджем фотографическое исследование движений производил в Германии другой исследователь Аншютц.



Рис. 59. Снимки бегущей лошади, сделанные Майбриджем

Этот впервые сделал много замечательных снимков движений животных и человека. Один из его снимков приведен на рис. 60. Он изображает движение кошки, падающей вверх ногами и переворачивающейся в воздухе.

В конце прошлого века фотографическое изучение движений получило мощный толчок к развитию в связи с работами знаменитого

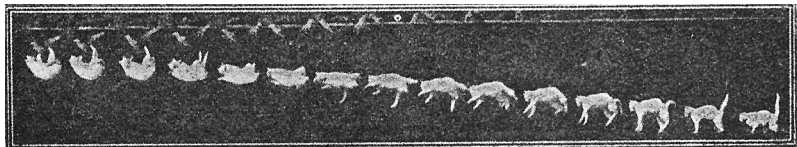


Рис. 60. Падение кошки, которую держали вверх ногами, и ее переворачивание налету (из снимков Аниютца)

французского ученого Марей. Трудно было бы представить себе человека более изобретательного и находчивого. Марей изучал в своей лаборатории движения всевозможных животных, походку человека, полет птиц и т.д. Для фотографических движений Марей часто пользовался изобретенным им ружьем. Это было очень странное ружье: на конце ствола у него находился фотографический объектив, а на месте магазина — барабан, в который вставлялась круглая светочувствительная пластинка. Марей прицеливался этим ружьем в бегущее животное или птицу, спускал курок, и тогда на быстро вращающемся барабане получалось десять последовательных снимков этого животного. Тому же Марей принадлежат два другие способа записи движений, которые до сих пор сохранили все свое значение.

Один из них заключается в том, что изучаемые движения передаются упругому барабанчику, соединенному резиновой трубкой с пишущим прибором. Самый пишущий прибор есть тоже барабанчик, с одной стороны металлический, а с другой — затянутый тонкой резиновой перепонкой. Трубка соединяет внутренние полости обоих барабанчиков. Вследствие упругости воздуха нажим на перепонку первого барабанчика тотчас же повлечет за собой выпячивание перепонки на втором барабанчике. И таким образом все движения, воспринятые первым, передадутся и на второй. С перепонкой второго барабанчика Марей соединял тонкую соломенную стрелочку с острием на конце, которая могла совершать качания при каждом движении резиновой перепонки барабанчика. Около острия ставился цилиндр, вращаемый заводным механизмом и обтянутый закопченной бумагой. Когда острие, прикасаясь к цилиндру, совершало движения вверх и вниз, то оно тем самым зачерчивало на закопченной бумаге след своего движения.

Сейчас трудно было бы и перечислить многочисленные случаи применения Мареевской воздушной передачи; ею пользуются и для записи сердечных сокращений, и мышечных сокращений, и голоса и т.д.

Другое нововведение Мареева имело целью улучшить фотографическую технику съемки движений. Никто в такой мере не способствовал возникновению кинематографа, как именно Мареев, но в его время кино еще только зарождался и не мог быть использован для научной работы. Поэтому приходилось искать обходных путей.

Мареев задумался над вопросом: нужно ли, изучая движения человека, снимать его целиком? Не проще ли предположить, как предполагали и мы с вами в начале этого курса, что все звенья тела представляют собою простые прямолинейные рычаги без внутренней подвижности? А это предположение давало ему в руки хорошие методы.

Вы знаете, что черные предметы не действуют на фотографическую пластинку, а действуют только светлые. Мареев одевал испытуемого в черный бархат, с перчатками и башлыком, и ставил его на фоне такой же черной стены. Единственными светлыми местами на всей одежде испытуемого были узкие серебряные галуны, нашитые на наружной поверхности его рук и ног. Если снять такого человека, то от всей фигуры на пластинке получается изображения только нескольких светлых полос.

Этим и воспользовался Мареев, только снимал он на одну и ту же пластинку не один раз, а несколько раз подряд. Перед объективом фотографического аппарата он помещал картонный круг, снабженный несколькими прорезами (рис. 61). Если такой круг привести в быстрое вращение, то он будет то открывать, то снова заслонять объектив с большой скоростью, если нужно, несколько десятков раз в секунду. Столько же раз будут получаться моментальные снимки. Вообразите теперь, что фотографируемый человек не неподвижен, а, например, идет. Тогда на пластинке изобразятся одно за другим все последовательные положения, которые занимали на нем все нашитые галуны, т.е. схематические положения его конечностей. Пусть наш картонный круг открывал объектив десять раз в секунду, тогда на снимке получится для каждой секунды по десять последовательных положений рук и ног. На рис. 62 изображен один из снимков человеческой ходьбы, сделанных Мареевым.

Способ Мареева упрощать формы предмета для изучения его движений до нескольких полосок возбудил всеобщий интерес. Очень скоро в Германии два видных ученых, Брауне и Фишер, применили подобный же прием для точнейшего изучения походки, которому они посвятили много лет работы и шесть томов сочинений. Брауне и Фишер применили вместо блестящих полосок электрические лампы, имевшие форму тонких трубок и дававшие

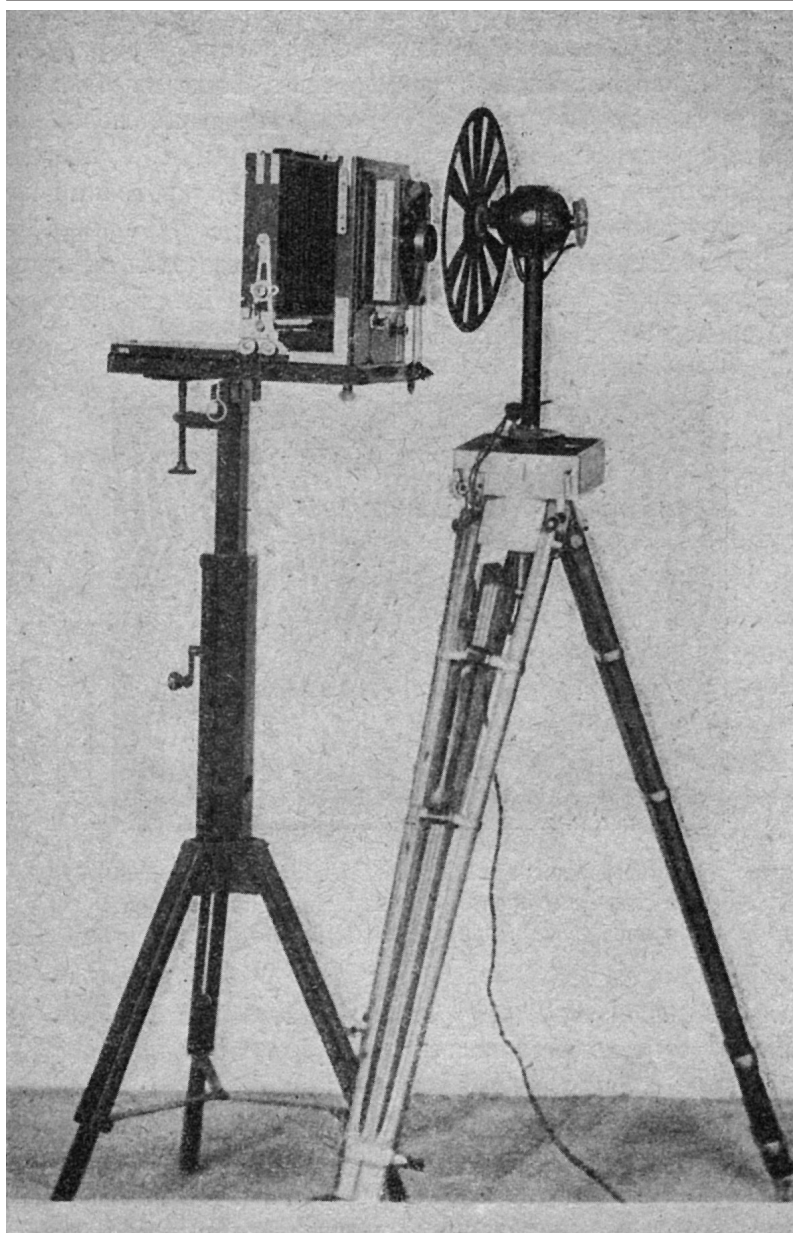


Рис. 61. Фотографический аппарат для цикло-съемки и электрический моторчик с вращающимся затвором (установка автора в ЦИТе)

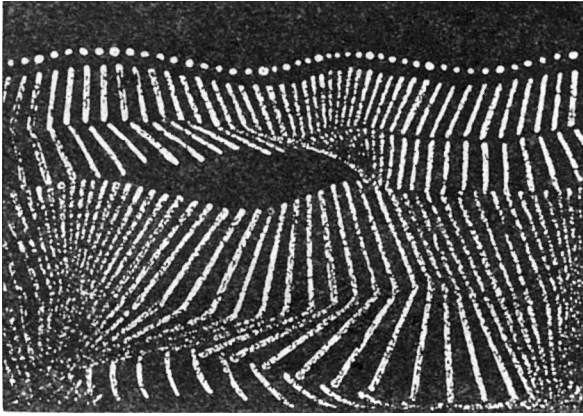


Рис. 62. Циклограмма ходьбы Маррея. Испытуемый идет слева направо. Заснято движение головы, правой руки и правой ноги (по О. Фишеру)

на пластинке изображения в виде тонких линий и точек. Наряд испытуемого при их методике был чрезвычайно тяжел и неуклюж; сделанный этими учеными снимок ходьбы можно увидеть на рис. 63.

Таким образом, уже 30 лет тому назад наметилось два пути фотографическо-

го изучения движений. Первый путь состоял в том, чтобы получать как можно больше отдельных моментальных снимков всего движущегося предмета. По этому способу работали Майбридж, Аншютц, его же использовал Марей в своем ружье, и из него возник современный кинематограф.

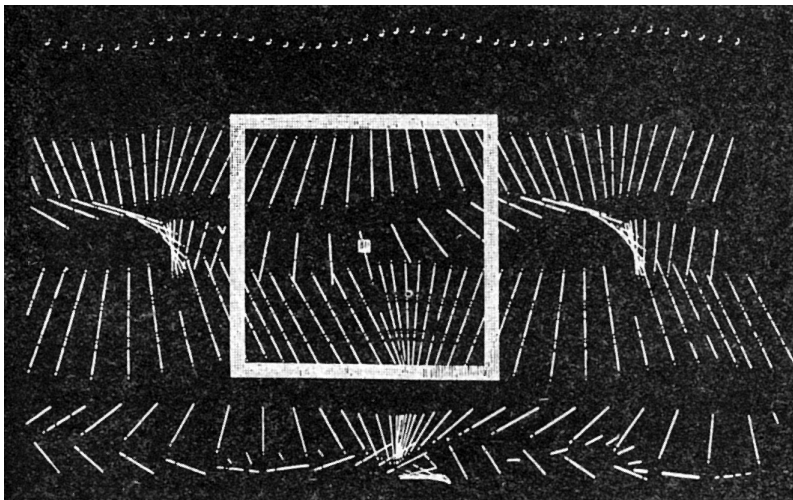


Рис. 63. Циклограмма ходьбы Брауне и Фишера. Испытуемый идет слева направо. Верхняя точка — темя, далее сверху вниз полосками: плечо, предплечье, бедро, голень и стопа; квадрат посередине снимка — масштаб (по О. Фишеру)

Другой способ сводился к тому, что от того предмета, движения которого надо было изучить, оставлялись видимыми только «рожки да ножки», т.е. несколько линий и точек, и затем последовательные положения этой упрощенной схемы заснимались много раз подряд на одно и то же место. Из этого способа, введенного, как мы видели, Мареем, развился современный метод циклограмм, о котором будем говорить уже в следующей лекции.

Теперь попробуем разобрать, какие достоинства и какие недостатки имеет тот и другой способ. Кстати, попутно с этим я расскажу вам о самых новых усовершенствованиях того и другого метода.

Метод кино имеет на своей стороне все преимущества наглядности. На отдельных кино-снимках вы имеете точные и подробные изображения предмета так, как он выглядел в действительности. Пропуская кинематографический снимок через аппарат для демонстраций, вы можете снова и снова увидеть на экране то быстрое движение, которое было раз запечатлено этим снимком.

Но этою наглядностью все преимущества кино в деле изучения движений в сущности и исчерпываются. А для научной работы наглядность вовсе не составляет первостепенного преимущества. Научное исследование в гораздо большей мере преследует цели измеримости и точности, а в этом отношении кино, как сейчас увидим, далеко уступает циклографическому методу.

Прежде всего, так ли уж наглядно кино, как это кажется? Взгляните на рис. 64, где изображена серия кино-снимков, изображающих удар молотобойца. Попробуйте сказать по этому рисунку, какой путь продельывает в воздухе наконечник кувалды. Как видите, это не так легко, тем более не легко произвести здесь точное измерение. На рис. 65 изображено то же самое движение, но уже снятое циклографическим способом на одну пластинку, и даже, как вы видите, без всяких нашивок или лампочек, с помощью одного только вертящегося затвора. Не правда ли, на этом снимке путь инструмента не вызывает никаких сомнений и может быть очень легко и точно измерен? Дальше вы увидите, что и во многих других отношениях

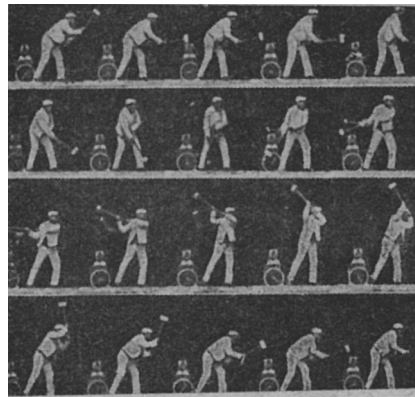


Рис. 64. Киносери́я размашисто́го удара молотобойца. Верхняя строка — удар и отдача, вторая и третья — замаши́ное дви́жение, нижняя строка — ударное дви́жение (по Фремону)

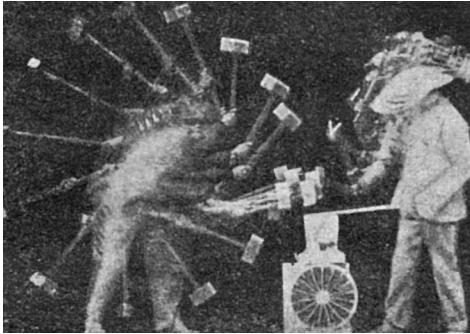


Рис. 65. Тот же размашиной удар, что и на предыдущем рисунке, но уже снятый на одной пластинке, с применением вращающегося затвора. Путь движения кувалды виден особенно отчетливо (по Фремону)

цикло-снимки оказываются нагляднее, нежели кино-снимки.

Второе преимущество циклографии перед кино заключается как раз в том, что на циклограмме меньше точек и подробностей, чем на кино-снимке. Если мы хотим измерять движения, то нам нужно совершенно точно знать, движение какой точки мы измеряем. Поэтому здесь все подробности излишни и только затемняют суть дела; лучше точно

уследить движение трех — четырех точек, чем растеряться в движении нескольких десятков.

Третий недостаток кино вот в чем. Киносъемочный аппарат дает 16 снимков в секунду; быстрее этого снимать затруднительно по целому ряду технических соображений. Между тем, особенно для быстрых движений, этого чересчур мало. На многих кино-снимках удары, какие мне пришлось делать, прикосновение молотка к ударяемому предмету, т.е. в сущности самый важный момент всего удара, вовсе не попадает на пластинку. С помощью циклографического метода количество снимков очень легко может быть увеличено до 100 и более в секунду, и при такой быстроте уже наверное все важнейшие подробности попадут на снимок.

Примерно в начале войны за границей появилась новая система кино, которая позволила производить в секунду не 16 снимков, как раньше, а значительно больше — до 400 снимков в секунду. Фотографические камеры такого рода получили очень картинное наименование «лупы времени». И действительно, такие камеры позволяют как бы рассматривать время через увеличительное стекло. Представьте себе, что мы сняли какое-нибудь движение со скоростью 400 снимков в секунду, а потом взяли ту же самую пленку, с содержащимся на ней снимком, и пропустили ее через обыкновенный демонстрационный киноаппарат, успевающий пропустить всего 16 изображений в секунду. Он успеет, следовательно, показать вам те 400 снимков, которые были сделаны за одну секунду, только в течение целых 25 секунд, т.е. изобразить движение в 25 раз более замедленным, чем оно было на самом деле. На таком кино-снимке все кажется презанятно замедленным:

подпрыгнувшая лошадь плавно и долго плывет по воздуху, и все вообще быстрые и мелкие движения выступают с необыкновенной отчетливостью.

Этот прекрасный аппарат имел бы бесконечно много преимуществ перед всяким другим методом, если бы наряду с достоинствами не увеличивались и недостатки. Надо помнить, что кинолента сравнительно дорога, а лупа времени пожирает ее рубля на четыре в секунду. Между тем, обыкновенная цикло съемка требует за то же время затрат всего на несколько копеек. Затем лупа времени представляет собою очень большой и сложный прибор, стоит весьма дорого, требует сильнейшего искусственного освещения, которое делает невозможным применение ее в обычной рабочей обстановке. Наконец, снимок, полученный при посредстве лупы времени, есть в конце концов обыкновенный кино-снимок и представляется таким же неудобным для измерения и обработки, как и всякий кино-снимок. Может быть, именно поэтому с лупой времени до сих пор не произведено ни одной серьезной научной работы.

Теперь я расскажу вам в кратких словах, как производятся циклографические снимки в современной лаборатории. Мне необходимо дать вам понятие об этом для того, чтобы вы могли легче разобраться в тех циклограммах, которые я буду показывать вам в следующей лекции. Метод циклограмм был разработан для научных целей доктором Кекчевым и мною; потому я изложу вам те способы работы, которые постоянно применяю сам.

Мы не пользуемся ни нашивками, ни хрупкими трубчатыми лампами. Мы берем для съемки те самые маленькие электрические лампочки, которые применяются в карманных фонариках. Рассуждаем мы при этом так.

Уж если сокращать изображение, так сокращать. Марею и Фишеру были не нужны целые органы, потому что их движения достаточно определялись движениями их продольных осей; но ведь движения всякой прямой линии так же точно определяются движениями двух точек, расположенных в ее концах. Поэтому нам вовсе не нужно снимать целую полоску, мы ограничиваемся съемкой одних только ее концов. Представьте себе, что мы знаем во всех подробностях движения центров локтевого и плечевого сочленений; этого нам вполне достаточно, чтобы сейчас же установить по ним движения всего плеча. В самом деле достаточно соединить прямой линией положения центров обоих этих сочленений, чтобы получить положение продольной оси плеча. Правда, этим способом мы еще не улавливаем поворотов плеча вокруг этой продольной оси, но такие повороты можно всегда определить, если мы будем знать движение продольной оси предплечья. Значит, нам нужно только еще одну точку в центре лучезапястного сочленения.



Рис. 66. Испытуемый с надетыми на его сочленения лампочками

Центр сочленения никаким методом непосредственно снять невозможно; поэтому приходится довольствоваться приближенным способом. Мы помещаем наши лампочки на теле испытуемого над самыми центрами его сочленений, как можно ближе к ним. На рис. 66 изображено распределение лампочек при съемке движения руки, производящей рубку зубилом. Лампочки находятся над плечевым, локтевым и лучезапястным сочленениями, над центром тяжести кисти и на центре тяжести молотка.

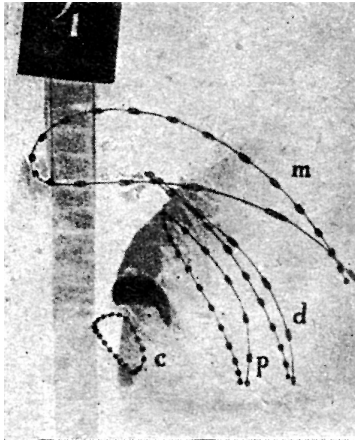
Мы одеваем испытуемого в темный костюм и ставим его на фоне темной стены. Перед ним помещаем фотографическую камеру с вертящимся затвором. Самая съемка совершается следующим образом.

Сначала мы освещаем испытуемого сильными лампами и снимаем с него обыкновенную фотографию так, чтобы получить некоторое наглядное

представление о его местонахождении и позе. После этого мы оставляем в комнате только слабое освещение, зажигаем на испытуемом лампочки и пускаем в ход вертящийся затвор. Затем испытуемому предлагается производить те движения, которые требуются заснять, и когда он вработается, фотографическая камера открывается, и лампочки запечатлевают след своего движения на пластинке.

Нам необходимо обеспечить себе еще возможность точных измерений того движения, которое мы снимаем. Измерять нужно и пространство, и время. Для этого служат следующие приспособления.

Вместе с испытуемым мы в начале съемки фотографируем еще и рейку, разделенную на сантиметры. Так как, кроме того, расстояния от камеры до рейки и до испытуемого предварительно измеряются и записываются, то судить о натуральной величине заснятых движений очень легко.



Мы должны еще знать, сколько изображений в секунду дает наша съемка. Для этого достаточно знать, с какой быстротой вращается затвор. Скорость его вращения измерится очень точным и простым звуковым способом и тоже записывается.

Наверно, ни один из вас задавал себе вопрос: разве может фотография,

Рис. 67. Половинка стереоскопической циклограммы рубки зубилом. Удар, близкий к нормали 8 (см. лекцию 10). Снято автором в ЦИТе

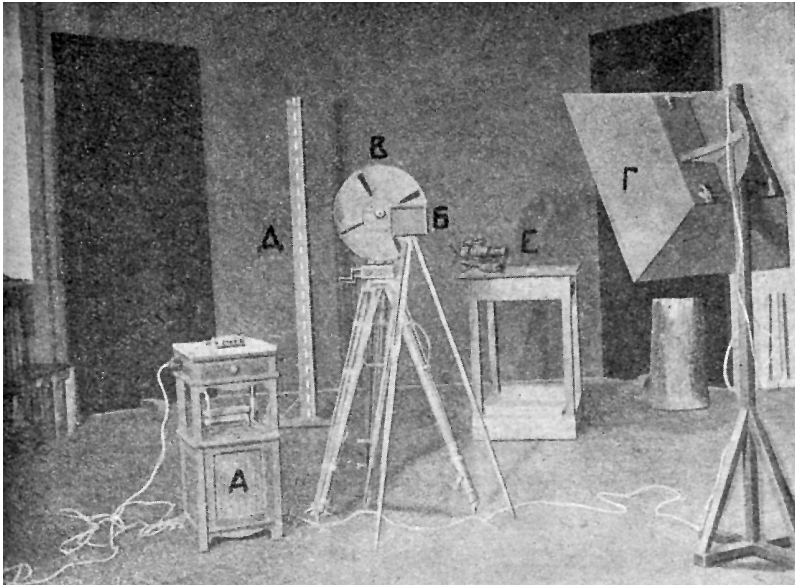


Рис. 68. Лабораторная установка циклографической съемки (сооружено было автором в ЦИТе).

А — распределительный электрический столик, где сосредоточено все управление съемки.

Б — фотографическая камера.

В — вращающийся затвор с 4-мя прорезями.

Г — осветитель в 1000 свечей.

Д — сантиметровый масштаб.

Е — верстак для испытуемого

дающая плоские изображения, воспроизвести натуральное движение, которое происходит в пространстве, т.е. имеет кроме длины и ширины еще и глубину? Это так, но на то есть стереоскоп. Тут вскрывается еще один недочет кино: современное кино не допускает стереоскопической съемки. Между тем, такая съемка при циклографическом методе, пользующемся обыкновенной фотокамерой, вполне возможна. Для этого достаточно вместо простого аппарата поместить позади затвора аппарат стереоскопический, с двумя объективами и с двумя пластинками. Тогда движение будет охвачено уже во всех подробностях.

В заключение покажу вам одну такую стереоскопическую циклограмму, снятую с рубки зубилом (рис. 67), а также общий вид лаборатории с установкой для цикло-съемки (рис. 68). Способы чтения циклограмм и, в частности, разбор приведенной сейчас циклограммы мы рассмотрим уже в следующий раз.

Лекция 9

Товарищи! Вот вам для начала циклограмма, изображающая ходьбу (рис. 69). Займемся сегодня чтением тех сведений, которые содержатся в циклограмме. Это будет вместе с тем небольшое упражнение для вас. Циклографический метод в своих простейших формах так несложен и дешев, что, как я надеюсь, вы чисто практически заинтересуетесь им. Очень возможно, что вам и самим случится производить циклографические съемки на производстве; поэтому желательно, чтобы вы были циклографически грамотны, не делали тех ошибок, которые часто делаются, и имели понятие о том, какие богатства можно извлечь из циклограммы при умелом обращении с ней. На моей душе лежит еще и тот грех, что я до сих пор ничего популярного не написал по методике циклографии; поэтому существует мнение, что эта вещь очень сложная и мало дающая. Конечно, во всяком деле есть сложные стороны, и в научной работе позволительно ставить себе какие угодно мудреные задачи. Но в циклограммах наряду с

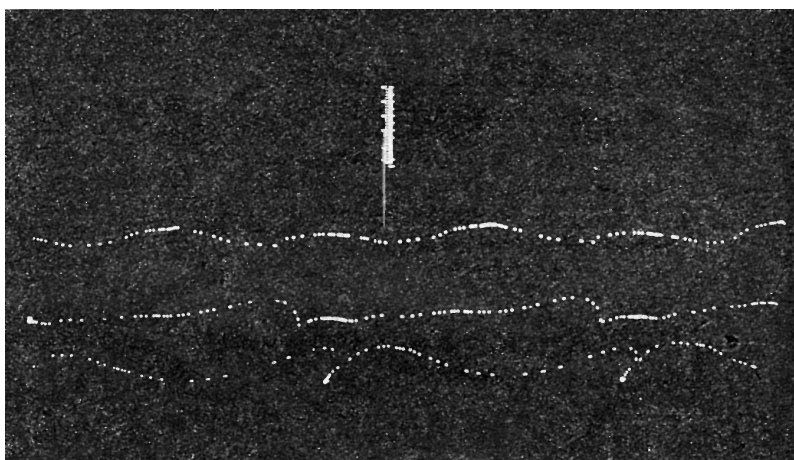


Рис. 69. Циклограмма ходьбы, снятая автором в ЦИТе. Засняты только тазобедренное, коленное и голеностное сочленения правой ноги. Направление движения — слева направо. Походка — церемониальный марш

этим мудреным есть немало азбучного, общедоступного и такого, что может пригодиться на каждом шагу в инструкторской практике.

Обратимся к нашему снимку. На нем всего навсего три пунктирные линии. Это следы движения трех лампочек. Я прикрепил эти лампочки над тазобедренным, коленным и голеностопным сочленениями правой ноги. Движение лампочек есть результат того, что человек шел и нес лампочки на себе. Направление движения — слева направо. Если вы усвоили себе то, что говорилось в прошлой лекции, то объясните мне, почему следы движений этих лампочек имеют вид пунктиров?

Слушатели. Потому что у вас действовал затвор.

Лектор. Как же он действовал?

Слушатели. Он поворачивается и то открывает объектив, то закрывает.

Лектор. Правильно; а пунктир получается потому, что лампочка действует на пластинку и оставляет на ней свой след только тогда, когда объектив открыт. Раз он закрыт, то лампочка для пластинки невидима; между тем, она продолжает двигаться, и когда объектив откроется снова, то она оказывается уже вдалеке от того места, на котором она снималась в последний раз. Очевидно, если затвор

убрать, то на снимке получится сплошная линия (рис. 70). Теперь объясните-ка, почему на нашей циклограмме (рис. 69) точки расположены тройками? Вы не догадываетесь? Не ищите каких-нибудь премудрых объяснений; дело это очень простое. Представьте себе, что наш затвор имеет вид круга, у которого сделано всего три прореза, расположенных так, как на циферблате часов расположены цифры 9, 12 и 3. Вот такой затвор и даст вам тот самый эффект, который получился на нашем снимке. Если бы был и четвертый

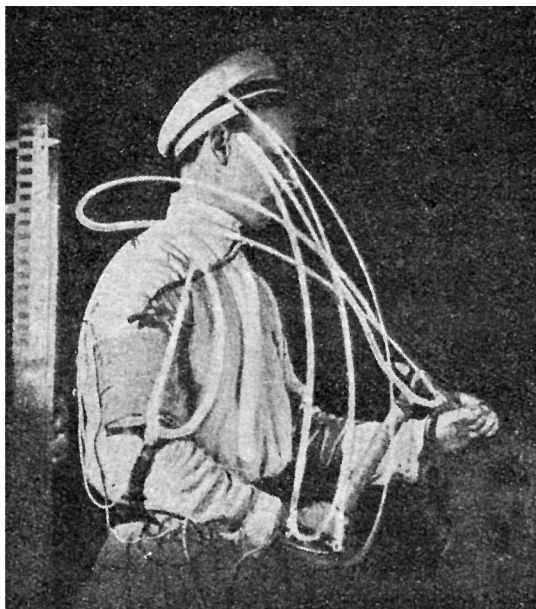


Рис. 70. Циклограмма рубки зубилом, снятая без вращающегося затвора. Вертикальный удар (см. лекцию 10). Снято автором в ЦИТе

прорез там, где на часах цифра 6, то точки следовали бы друг за другом равномерно без пропусков; а так из каждых возможных четырех на самом деле пропускается одна точка. Зачем это сделано, вы увидите дальше.

Вы понимаете, что можно располагать пррезы на диске как угодно; от этого будет меняться вид получаемого вами пунктира.

Какое бы расположение точек в пунктире мы ни применяли, всегда можно легко восстановить путь или траекторию движения каждой лампочки, если соединить все точки принадлежащего ей пунктира сплошной кривой. Так это и сделано, например, на циклограмме рис. 79. Теперь задайте себе вопрос: почему не все точки одного из пунктиров, скажем верхнего, тазобедренного (рис. 69) расположены на равных расстояниях, а напротив, одни тройки теснее, а другие более растянуты?

Слушатели. Неправильно вертелся затвор?

Лектор. Нет, затвор-то шел равномерно, дело не в том. Как вы полагаете, нет ли тут связи с различной скоростью движения? Может быть, в одном случае тазобедренная лампочка двигалась быстрее, в другом – медленнее?

Слушатели. Ну, конечно.

Лектор. Если вы с этим согласны, то ответьте, где же движение быстрее, а где медленнее?

Слушатели. Где точки теснее, там быстрее. (Споры в аудитории).

Лектор. Да так ли? Вот возьмем снимок удара молотком (рис. 67). Здесь это видно яснее. Затвор вращался здесь, как и во всех случаях, равномерно; скорость его в данном снимке была такова, что между каждыми двумя точками проходила ровно $\frac{1}{30}$ доля секунды. Вы видите, что в одном месте верхнего пунктира точки лежат теснее, чем в другом. На снимке имеется сантиметровый масштаб. Я возьму линейку и промеряю по этому масштабу расстояния между точками. В самом широком месте такое расстояние составляет 27 см, в самом тесном – 3 см. Вот и сообразите: в обоих случаях движение точки из одного положения в соседнее продолжалось $\frac{1}{30}$ секунды. Между тем, в первом случае она успела за это время пройти почти девять раз больше, чем во втором. Где же скорость движения больше?

Слушатели. Там, где она прошла больше.

Лектор. Несомненно так, и это общее правило: чем дальше друг от друга точки, тем движение было быстрее. А не можете ли примерно сказать, во сколько раз в первом случае движение было быстрее, чем во втором?

Слушатели. В девять раз.

Лектор. Да, приблизительно так. Можно для начала считать, что расстояния между соседними точками пропорционально скоростям их движения. Нельзя ли теперь подсчитать, хотя бы приближенно, и самые скорости движения точек?

Слушатели. Можно.

Лектор. Как же вы возьметесь за дело?

Слушатели. Надо знать скорость в одном месте. Нужно сравнить.

Лектор. А мне кажется, ничего не надо знать; все уже содержится в самой циклограмме. Ну, подумайте, за $\frac{1}{30}$ секунды точка прошла 27 см; значит, в секунду она пройдет сколько? Больше или меньше?

Слушатели. В 30 раз больше.

Лектор. Сколько же это составит?

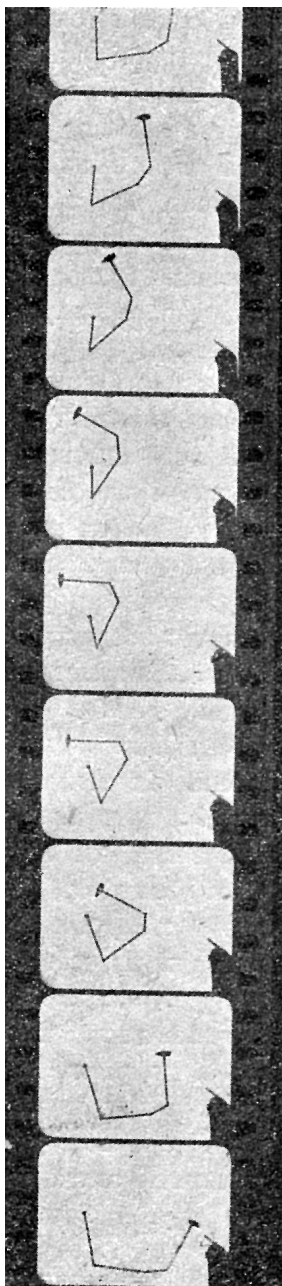
Слушатели. 810 см

Лектор. Вот мы и подсчитали скорость. Она составляет в этом месте около 8 метров в секунду. Сейчас же сформулируем общее правило приблизительного подсчета скоростей по циклограммам. Для того, чтобы определить скорость движения в данном месте, надо измерить по масштабу, имеющемуся на снимке, расстояние между двумя соседними точками циклограммы и разделить эту величину на промежуток времени, протекающий между двумя последовательными точками. Конечно, масштаб должен быть помещен для этой цели на том же расстоянии от аппарата, как и снимаемый движущийся орган.

Этот способ определения скорости не слишком точен, хоть и вполне достаточен для практики. Описание более точных способов вы найдете в моей статье «Исследования по биомеханике удара» в сборнике ЦИТа за 1923 год. Я думаю, что эти точные способы вам и не понадобятся. Прибавлю кстати, что определять скорость движения по кино-снимку — очень хлопотливая и неточная вещь, а циклограмма дает ее почти сразу.

Вот вам маленький практический вывод из сказанного. Сила удара молотка зависит от его кинетической энергии или живой силы. А кинетическая энергия есть произведение массы тела на половину квадрата его скорости. Масса тела равна его же весу в граммах, деленному на 981. Теперь, если мы знаем вес молотка и его скорость в мгновение удара, то мы можем легко подсчитать живую силу удара. Например, если молоток (точнее его стальная часть) весит 600 гр., а скорость его перед ударом равна 7 метрам в секунду, то живая сила удара будет равна $1\frac{1}{2}$ килограммометрам. Следовательно, зная вес молотка, вы можете по циклограмме определить силу удара, т.е. иметь суждение о его производительности.

Из циклограммы очень легко вычитывается еще одна вещь. Подумайте, что происходит, когда затвор открывает объектив? В этот момент, очевидно, все лампочки, сколько бы их ни было, дают свои изображения на пластинке в виде точек; если лампочек было 5, то и точек получится сразу 5, и т.д. В следующее мгновение, когда снова откроется затвор, все точки окажутся в новых местах и дадут 5 новых изображений. Когда в результа-



те съемки получено 5 разных пунктиров, то очевидно, каждой точке одного из пунктиров соответствует по одной точке в каждом из остальных пунктиров. Понятно также, что количество точек в каждом из пунктиров должно быть одно и то же. Если так, то, подыщем каким-нибудь способом соответственные точки (т.е. одновременно снятые точки) в каждом из пунктиров. Если такие точки в двух соседних пунктирах соединить прямой линией, то, конечно, эта линия изобразит собою положение оси того звена, на концах которого сидели данные две лампочки. Таким же образом мы можем начертить и положение всех остальных снятых нами звеньев в тот же момент. Мы получим не что иное, как схему положения, которое в данный момент занимала снимаемая рука или нога. Тем же путем можно восстановить по циклограмме и все остальные, последовательно занимавшиеся положения. Вот мы и вернулись от невыразительной на первый взгляд циклограммы к тому самому, что дает нам кино. Имея в руках такую серию последовательных положений, мы можем разбираться в движении не хуже, чем сделали бы это по киноленте. На рис. 76 изображена обработанная этим способом циклограмма удара. Для большей ясности ее последовательные положения слегка обработаны в виде рисунка. Выразительность ее не оставляет ничего желать. На рис. 71 такого же рода циклограмма обработана в виде киноленты. Такая лента была изготовлена мною с моими товарищами и воспроизводила в виде схемы из палочек движения рубки и удара молотобойца.

Рис. 71. Отрывок киноленты, изображающей рубку зубилом в виде оживших схем. Лента изготовлена по циклограммам

Итак, мы уже научились определять по циклограмме, во-первых, путь движения каждой части тела, его размеры и форму; во-вторых, скорость движения каждой точки и, в-третьих, последовательные положения, какие данный орган занимал в пространстве. Чтобы узнать из циклограммы нечто большее, мне надо предварительно инструктировать вас еще кое в чем.

Вы знаете из уроков черчения, что называется системой координат. Вот такую систему координат мы используем теперь и в нашей циклограмме. Давайте горизонтальные направления обозначать буквой X, а вертикальные буквой Y. От третьего направления — в глубину снимка — мы пока отвлечемся, так как оно определяется только из стереоскопических снимков, а обработка таких снимков вообще гораздо сложнее и требует специальной аппаратуры. Интересующихся отсылаю к уже упомянутой моей статье.

Примем две любые прямые линии, вертикальную и горизонтальную, за оси координат и будем измерять расстояние каждой точки нашей циклограммы порознь от той и от другой оси. Для каждой световой точки мы получим таким путем две координаты: абсциссу X и ординату Y. Изучение этих координат даст нам множество новых материалов для ознакомления с движением точки.

Во-первых, нам может быть интересно узнать что-нибудь о движении не тех точек, которые сами себя засняли на пластинке, а других, промежуточных точек. Если, например, интересно знать, что происходит с серединой плечевой кости, то мы можем узнать об этом непосредственно из циклограммы. Для этого достаточно соединить прямой линией соответствующие положения плечевой и локтевой лампочки, и полученную линию разделить пополам. Но часто нам бывают нужны другие промежуточные точки; как быть с ними? С ними поступают очень просто. Допустим, что интересующая нас точка лежит на одной прямой между двумя заснятыми лампочками и делит расстояние между ними в определенном отношении, скажем $n : m$. Пусть координаты одной из заснятых точек равны X и Y, а координаты другой x и y . Тогда координаты промежуточной точки, которую мы разыскиваем, будут равны:

$$\frac{mX+nx}{m+n} \text{ и } \frac{mY+ny}{m+n} .$$

Как видите, ничего хитрого тут нет.

Этого рода подсчет мог бы, например, пригодиться нам при отыскании положений центров тяжести звеньев, которые как раз лежат на прямых, соединяющих центры сочленений. Как вы помните, у длинных

звеньев они делят эти линии в отношении 4:5. Поэтому во всех случаях, если координаты верхнего (ближайшего к туловищу) сочленения суть X и Y , а координаты нижнего (удаленного от туловища) сочленения, ограничивающего то же звено, равны x и y , то координаты центра тяжести этого звена суть:

$$\frac{4x+5X}{9} \text{ и } \frac{4y+5Y}{9} .$$

Не буду распространяться здесь о том, как найти по циклограмме положения центров тяжести целых многозвенных систем. Раз мы нашли положения центров тяжести отдельных звеньев, и раз мы знаем соответственные веса этих звеньев (для этого я и приводил вам в одной из прошлых лекций таблицы весов), то найти общий центр тяжести для нескольких звеньев уже не так трудно. Общее правило звучит здесь так:

Если координаты центров тяжести нескольких звеньев суть соответственно $x_1, x_2, x_3,$ и т.д., а массы (или веса) тех же звеньев равны соответственно m_1, m_2, m_3 и т.д., то координаты общего центра тяжести всех данных звеньев суть:

$$\frac{m_1x_1+m_2x_2+m_3x_3+\dots}{m_1+m_2+m_3+\dots} .$$

Если кто заинтересуется этими измерениями ближе, то он найдет все необходимые числовые формулы в готовом виде в моей книге «Общая биомеханика».

Я думаю, вы понимаете сами, какое значение имеет точная осведомленность о движениях центров тяжести. Прежде всего, зная высоту, на которую поднят центр тяжести тела, вы тем самым определяете работу, затраченную на его поднятие. Это определение постоянно бывает нужно при сравнительной оценке различных типов рабочего движения, и мы еще вернемся к нему, когда будем изучать правильный и неправильный удар. Во-вторых, знакомство с центрами тяжести помогает нам уяснить себе усилия, которые имеют место при работе, и учет которых есть дело большой практической важности.

Вы, наверно, знаете из общей механики, что сила измеряется произведением массы на ускорение. Мы можем по упомянутой сейчас таблице определить массы частей человеческого тела. Если мы сумеем по циклограмме определить их ускорения, то у нас будут в руках все материалы для учета усилий. Посмотрим, как бы нам определить ускорения.

Ускорение есть быстрота изменения скорости. Иными словами, ускорение измеряется величиной изменения скорости за единицу времени. Я не могу останавливаться здесь на точных приемах учета ускорения по циклограмме; но дам вам в руки первое грубое приближение. Для этого выучимся сперва чертить графики скоростей движения.

Мы уже определяли приблизительно общую скорость движения по траектории. Теперь надо выяснить вам, что называется слагающими скоростями. Когда точка движется, то обе ее координаты, и X , и Y , изменяются. Если мы ограничим свое рассмотрение только изменениями абсциссы (X), то из изменения этих абсцисс можно вывести, какова была в каждый момент слагающая скорость движения по абсциссе. Это вот что значит. Пусть наша точка двигалась наискось со скоростью 5 метров в секунду. При этом может оказаться, например, что ее абсцисса менялась со скоростью 3 м/с, а ордината — со скоростью 4 м/с. Если обе эти слагающие скорости сложить по правилу параллелограмма скоростей, то в результате получится как раз первоначальная скорость движения по траектории, т.е. 5 м/с. Следовательно, не идя дальше того приближения, которым мы уже пользовались при подсчете общей скорости, мы скажем так. Если затвор дает нам изображения 50 точек в секунду, а за одну такую пятидесятую долю секунды абсцисса точки изменилась на n сантиметров, то слагающая скорость точки по абсциссе составляет в этом месте $50n$ см. Мы условимся считать, что если абсцисса возрастает, то скорость положительна; если она убывает — скорость отрицательна. То же самое рассуждение относится, конечно, и к слагающей скорости по ординате.

Теперь можно приступить к составлению графика слагающих скоростей. Постройте две взаимно перпендикулярные оси координат, по оси ординат отложите значения скоростей (например, в метрах в секунду), а по оси абсцисс отложите доли секунды. Такие оси имеются, например, на рис. 72. Затем для каждого мгновения времени откладывайте от оси абсцисс перпендикулярно к ней обнаруженные в соответствующие мгновения значения скоростей; положительные скорости откладывайте вверх, отрицательные — вниз. Если вы соедините концы всех отложенных отрезков кривою линией, то вы и получите тот самый график скоростей, которого мы добивались. Такой график скоростей центра тяжести молотка при рубке зубилом изображен на рис. 72. Сплошная кривая есть слагающая скорость движения вперед и назад, кривая, начерченная черточками, — то же для слагающей скорости по направлению вверх и вниз; наконец, пунктирная кривая — тоже для движения вправо и влево.

На что нам все эти графики? Что они дают нового? Как сейчас увидите, очень много нового. Через них мы прямым маршрутом движемся к определению усилий.

Мы уже вспомнили, что ускорение — это скорость изменения скорости. Скорость уже имеется у нас в подсчитанном и вычерченном виде по всем координатам. Теперь можно рассуждать так. В некоторое мгновение скорость точки по абсциссам составляла два метра в секунду; спустя, скажем, 0,1 секунды, она, как это вытекает из графика, достигла уже $2\frac{1}{2}$ м/с. За 0,1 секунды она успела измениться на $\frac{1}{2}$ метра; следовательно, при том же темпе изменения, т.е. при том же ускорении она за целую секунду изменилась бы на целых 5 метров. Поэтому ускорение на взятом промежутке составляет в грубом приближении 5 м/с. Так же точно можно учесть ускорение и на всяком вообще промежутке. Только не путайтесь со знаками положительных и отрицательных ускорений. Ускорение положительно, если на графике скорости кривая идет вправо вверх; оно отрицательно, если кривая идет вправо вниз. Вы скоро приглядитесь к графикам скоростей и подметите, что чем кривая скоростей идет круче, тем значение ускорения больше.

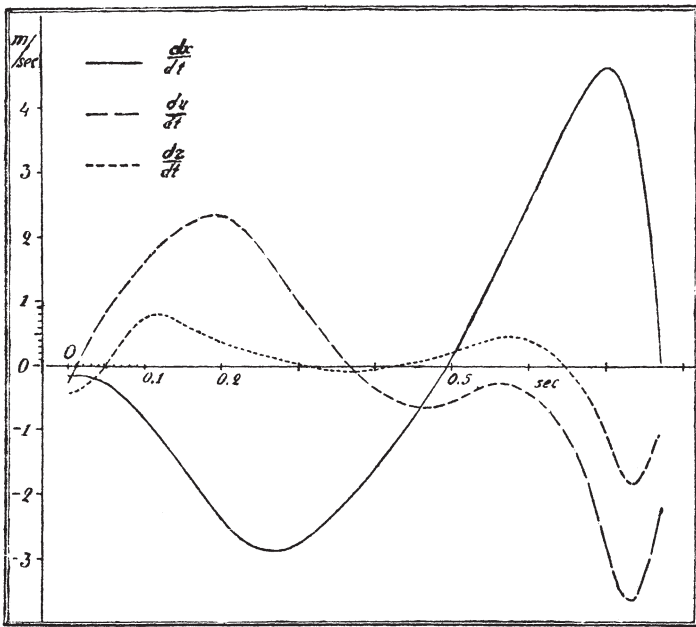


Рис. 72. График слагающих скоростей движения молотка при рубке зубилом.

- скорость движения вперед-назад
- скорость движения вверх-вниз
- скорость движения вправо-влево

Вот вы определили, что в данное мгновение слагающая ускорения по абсциссе равна, скажем, 10 м/с, а такая же слагающая по ординате равна, например, 3 м/с. Как быть с этими цифрами дальше? А их надо объединить опять-таки по правилу параллелограмма. Стройте прямоугольник следующим образом: от изображения изучаемой точки на циклограмме, соответствующего данному моменту, отложите в каком-нибудь масштабе (например, 1 метр в секунду равняется 1 см) сперва +10 метров в секунду по абсциссе — это получится 10 см горизонтально вправо. Затем из той же точки и в том же масштабе отложите -3 метра в секунду по ординате — это выйдет 3 см вертикально вниз. На обеих линиях постройте прямоугольник, проведите в нем от нашей начальной точки диагональ, нарисуйте ее пожирнее и на дальнем конце закончите стрелкой. Полученная диагональ изображает по величине и по направлению действительное ускорение изучаемой точки в данное мгновение: стрелка содержит в себе ровно столько сантиметров, сколько метров в секунду составляет полное ускорение точки. От ускорения уже не трудно перейти к силе. Ведь направление силы совпадает с направлением ускорения, а значение получится, если значение ускорения умножить на массу точки. Значит, и силу можно изображать стрелкой, выбрав для нее подходящий масштаб.

Все описанные расчеты могут показаться вам кропотливым и скучным делом. Зато как увлекательно интересно, когда из безжизненной циклограммы, похожей на пеструю сетку точек, вдруг начинают вырисовываться перед вами одна за другой все тайны проделанного движения! Ни одна кинофильма не даст вам даже отдаленно того богатства сведений о движении, какое дает умело обработанная циклограмма. Вы начинаете чувствовать, точно выучились читать на каком-то языке, который ранее был для вас непонятен; и удовольствие перечитывать на этом языке страницу за страницей так велико, что оставляет за собою все неприятности и всю скуку предварительных подсчетов.

Я покажу вам рисунок, на котором мною подсчитаны и нарисованы по циклограмме усилия в центрах тяжести при ударе молотком. Печатать этого рисунка я не буду, так как он печатался уже столько раз, что наверное всем надоел. Вы найдете его в книжке д-ра Кекчеева «Физиология труда».

Теперь мы вооружены некоторой циклографической грамотой и можем приступить к рассмотрению какого-нибудь трудового движения во всех подробностях. Но сегодня у нас мало времени, поэтому я отнесу такое рассмотрение на следующую лекцию, а сейчас познакомлю вас вкратце с разными областями применения метода циклограмм, чтобы вы могли убедиться, как широко и разнообразно можно его использовать. Кстати

же, не мешает немного отдохнуть, так как материал, сообщенный вам в сегодняшней лекции, поневоле был несколько утомителен.

Трудно и представить себе ту область трудовых движений, где циклографический метод нельзя было бы применить с успехом. В моей коллекции есть циклограммы самых разнообразных операций.

Однако, не всякое рабочее движение удобно бывает заснять на простой циклограмме. Возьмите, например, опиловку. При этой работе движение совершается взад и вперед в одном направлении, по одному и тому же месту. Если вы попытаетесь снять с такого движения циклограмму, то все точки лягут друг на друга, и нельзя будет ровно ничего разобрать. Чтобы спасти положение, приходится прибегнуть к своеобразной уловке.

Для съемки такого рода движений мы сконструировали в ЦИТе (с помощью инженера А. Ялового) особую камеру, у которой пластинка уже не была неподвижной, а могла перемещаться равномерным движением вдоль объектива. Если при неподвижной пластинке изображение прямого и обратного хода напильника попадает на одно и то же место, то при ползущей пластинке последняя успеет между прямым и обратным ходом напильника передвинуться на некоторое расстояние. В результате, вместо смазанной прямой, получится растянутая четкая кривая. Рис. 73 изображает одну из снятых таким способом циклограмм опиловки.

Этот способ скользящей пластинки чрезвычайно богат возможностями еще по другой причине. На обыкновенной циклограмме невозможно снять больше одного из серии повторяющихся движений зараз. В противном случае фотографии точек второго движения придутся на тех же местах, что и в первом движении, и выйдет неудобочитаемая мазня. Между тем, если такое ритмическое движение снимать на скользящей пластинке, то можно получить сколько угодно циклов движения один за другим. На нашем рисунке опиловки поместилось больше четырех циклов; а если пластинку заменить пленкой, сматывающейся с катушки, то количество циклов можно увеличивать до любого предела. Такая пленочная камера описана мною во втором сборнике «Вопросы психофизиологии, рефлексологии и гигиены труда».

На приведенном снимке можно видеть, как поразительно сходны между собой последовательные движения опытного работника. Я делал особенно тонкие измерения такого рода кривых и убедился, что разница продолжительности отдельных циклов обычно не превышает при опиловке одной, много двух сотых долей секунды.

Эта же камера со скользящей кассетой может пригодиться и в других случаях. К предмету нашего курса не относится применение циклографии к изучению болезней. Поэтому я не могу себе позволить дать рисунка; но

с помощью этого метода я получил весьма интересные записи движений больных, дающие очень много для суждения об их болезни и для ее распознавания.

Расскажу вам, наконец, еще об одном случае применения метода циклограмм. При определении профессиональной пригодности часто приходится сталкиваться с вопросом, насколько хорошо развито у человека то пространственное чувство, о котором мы говорили в одной из прошлых лекций. Наличие этого чувства в сильнейшей степени требуется от

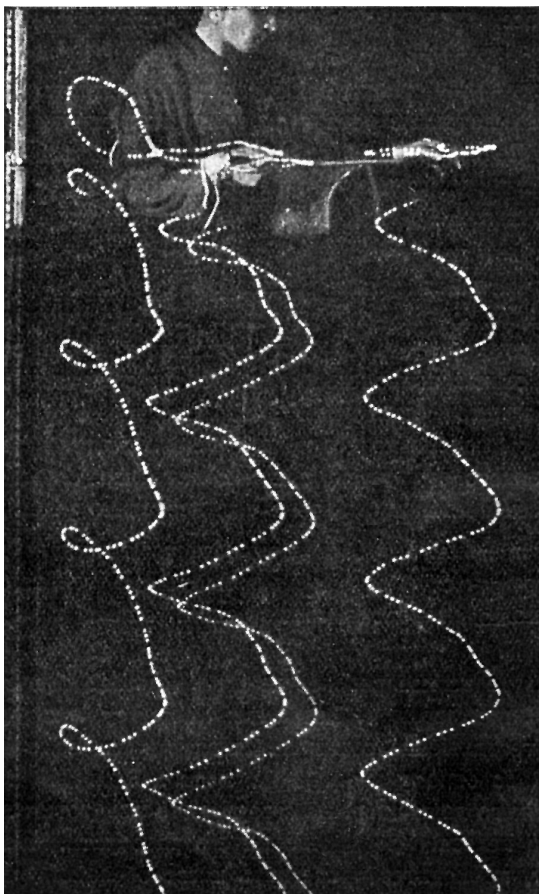


Рис. 73. Циклограмма опилочки, снятая с помощью камеры со скользящей кассетой. Слева направо следы: 1 — правого локтя, 2 — правого запястья, 3 — правого указательного пальца, 4 — левого большого пальца. Снято автором в ЦИТе

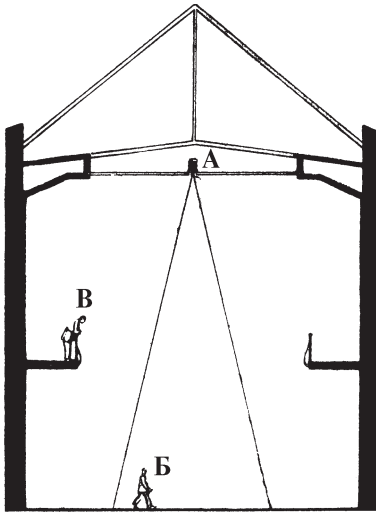


Рис. 74. Схема установки съемки, применявшейся автором для испытания пространственного чувства в ЦИТе.

А — фотографический аппарат.

Б — испытуемый.

В — наблюдатель

летчиков, шоферов, рудокопов, лиц, которым приходится соразмерять расстояния или работать в темноте, и т.д. В профессии металлостроителей есть также множество случаев, когда хорошо развитое пространственное чувство может сослужить службу и даже выручить человека из беды.

Пространственное чувство удобно исследовать, например, так. На полу чертится круг или треугольник, метра три-четыре шириною. Испытуемому предлагается несколько раз пройти по такой фигуре, чтобы ясно освоиться с ней. Тотчас же после этого ему надевают на глаза повязку и предлагают пройти по той же фигуре уже с завязанными глазами. Чем лучше развито у человека пространственное чувство и чем менее оно лабильно (неустойчиво, подвержено нарушающим влияни-

ям), тем правильнее человек выполнит задание, тем незначительнее будут его отклонения от нарисованного пути при ходьбе с закрытыми глазами. Весь вопрос только в том, как регистрировать поведение испытуемого, как учитывать те отклонения, которые он обнаружит.

Вот тут-то и приходит снова на помощь циклография. Опыт устанавливается так, как изображено на рисунке 74. Высоко под потолком устанавливается фотографический аппарат, направленный объективом прямо вниз. У испытуемого укрепляется одна единственная лампочка — на темени. После этого с высоты фотографируется начерченная на полу фигура, на глаза испытуемому надвигается повязка, и он пускается в путь, в то время как аппарат сверху следит за движением его теменной лампочки и фотографирует ее путь. На рис. 75 а и б приведены два снимка с высоты, сделанные описанным способом. В обоих случаях задание было одно и то же: треугольник. Между тем вы видите, какая большая разница в выполнении получилась у обоих испытуемых: первый испытуемый был вполне здоровый и нормальный человек с хорошо развитым пространственным чувством; второй несколько времени тому назад перенес тиф, отразившийся на его нервной системе. Такая проба

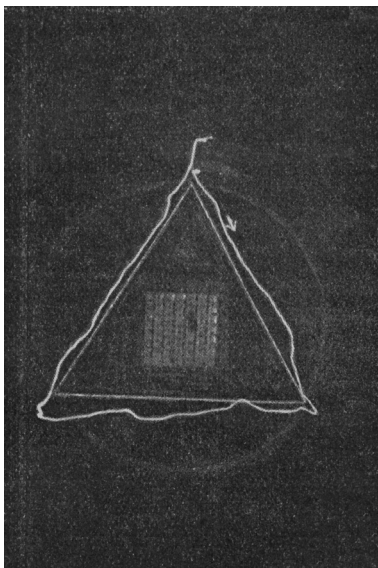


Рис. 75а. Снимок ходьбы с завязанными глазами по треугольнику, сделанный с высоты. Видны: треугольник, начертанный на полу, и след лампочки, помещавшейся на темени испытуемого. Стрелка указывает направление движения. Хорошее исполнение задания

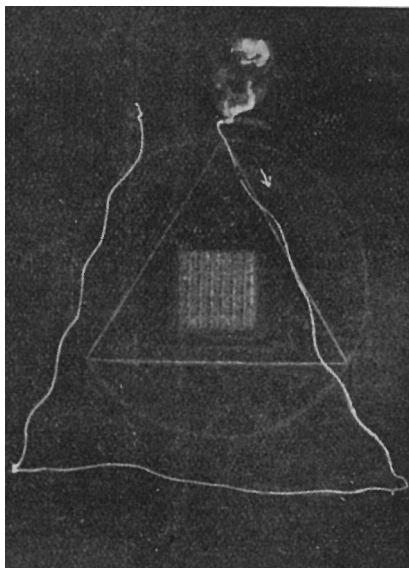


Рис. 75б. Тот же опыт, но с другим испытуемым, болезненное состояние которого хорошо отразилось в снимке. Светлые пятна наверху — испытуемый и исследователь, заснятые «с птичьего полета». Оба снимка сделаны автором совместно с доктором Н. Озерецким

пространственного чувства чрезвычайно наглядно и точно позволяет произвести отбор лиц, непригодных к данной профессии. И эти опыты можно, конечно, разнообразить без конца, но, я думаю, и уже сказанного довольно, чтобы дать вам понятие о том, как широка область применения циклографического изучения движений.

Лекция 10

Товарищи! Я не располагаю пока что ни одним трудовым движением, которое было бы так же точно и подробно разработано в моей лаборатории, как движение удара. Причина заключается в том, что те исследования, которые я производил над трудовыми движениями в ЦИТе, заглохли после моего ухода оттуда, я же перешел на изучение движений совсем в другой области. Поэтому будет уместно, если в качестве образцового разбора движений я предложу вам сегодня именно удар; что касается других типов рабочих операций, то нам удобнее будет заняться ими в порядке вопросов и ответов или же семинарского разбора в обстановке мастерской.

Начнем с удара молотком, производимого одной рукой. Это движение на вид очень несложно и о нем как-будто бы не приходится много говорить. На самом деле положение не таково. Движение замаха вместе с ударом занимает около секунды времени; на протяжении рабочего дня профессиональный рубщик успеет нанести верных 10 тысяч ударов. Если даже каждый удар при неумелой работе потребует от него ничтожной лишней затраты, то из десятка тысяч таких затрат составит уже внушительная сумма, которой можно и должно избежать.

Чтобы сразу заинтересовать вас вопросом о правильном ударе, я спрошу вас, как вы, собственно говоря, двигаете правой рукой при рубке зубилом и как вас обучают этому движению? Расскажите или покажите.

Слушатель. Вот, доктор, мы все хотим вас спросить, как нужно ударять. У нас тут есть ребята, которые опытные рубщики, и они всегда локоть отводят наружу; а нам теперь несколько раз показывали рубить так, чтобы заносить прямо вперед, а молоток западает назад. Так оно как-то не поймешь, как правильнее, вперед оно почему-то несподручно выходит.

Лектор. А вы как считали бы правильнее?

2-й слушатель. Которые в ЦИТе обучались ребята, так с них тоже требовали, чтобы рубить в одной плоскости, а так никогда силу не получишь. Если наотмашь, то как-то удобнее.

3-й слушатель. А вот, попробуй, поучись наотмашь и все пальцы себе отобьешь. Никогда такой меткость не будет. (Оживленные споры).

Лектор. Так этот вопрос для вас интересен?

Слушатели. Интересен.

Лектор. Ну вот и завязка для сегодняшней лекции. Разберем систематически, какой из ударов правильнее.

По удару я снял наверное много сотен циклограмм. Выбор у нас большой. Но интересно, что разнообразие типов удара обнаружилось совсем незначительное. В сущности я имел дело только с двумя главными формами; все остальные были разновидности. Сейчас я вам предьявлю чертежи, которые изображают последовательные положения правой руки и молотка в двух типичных случаях (рис. 76 и 77). Взгляните на них и попробуйте узнать, какой тип удара изображает каждый из них.

Слушатели (указывая на рис. 76). Вот этот – отмахной.

Лектор. Я вижу, что глаз у вас немножко попрывок. У меня больше нет таких чертежей, а циклограмм достаточно. Поэтому расскажем для начала по порядку все, что выясняется из этих двух чертежей, чтобы потом без труда суметь узнать те же подробности на сырых циклограммах. Начнем с отводного удара (как мы будем называть удар рис. 76), потому что биомеханически он проще.

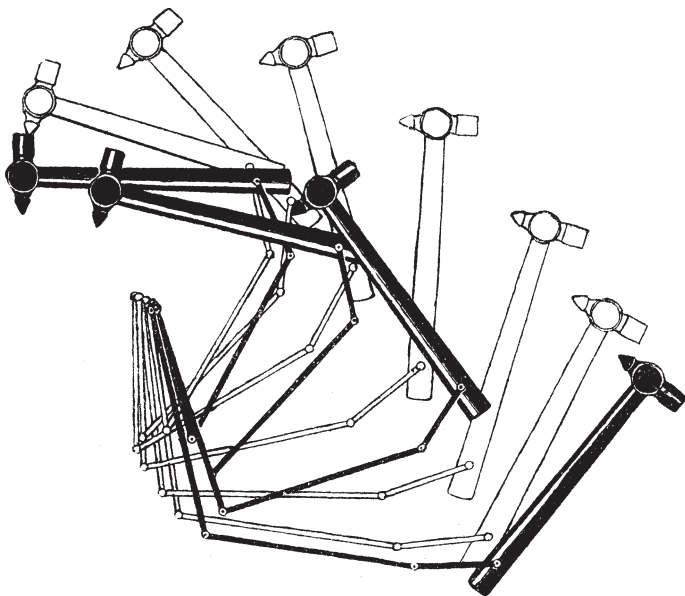


Рис. 76. Последовательные положения правой руки с молотком при рубке зубилом. Продольные оси плеча, предплечья и кисти изображены условно прямолинейными звеньями. Белые звенья и молотки – замах, черные – удар. Промежуток времени между смежными положениями – $1/15$ сек. Удар близок к нормали δ

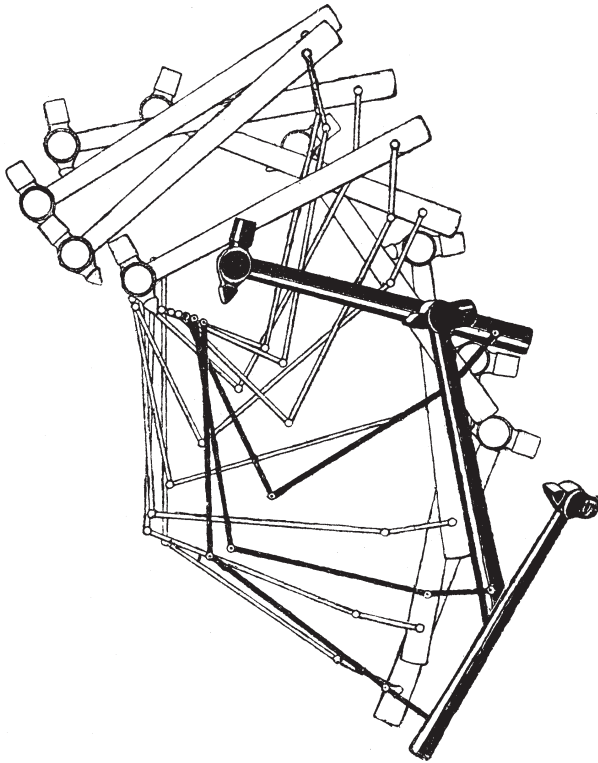


Рис. 77. Последовательные положения руки с молотком при неправильном (вертикальном) ударе. Обозначения те же, что и на рис. 76

У вас должно остаться несомненное впечатление, что отводной удар построен проще, нежели удар вертикальный. Просто даже в рисунке первого легче разобраться, нежели в рисунке второго. На обоих рисунках замах изображен белыми полосками и молотками, удар – черными. Вы видите, как на том, так и на другом рисунке, что в замашном движении молоток идет выше, чем в ударном движении. Это есть вещь неизбежная, которая будет иметь место при каждом движении молотка и при всяком типе удара; поэтому всегда траектория головки молотка будет иметь ту же характерную форму, напоминающую рыбу; на всех дальнейших циклограммах вы ее хорошо разглядите.

Путь движения кисти ничем особенно не замечателен в обоих движениях; вы можете только заметить, что в отводном ударе он гораздо короче, чем в вертикальном. В отводном ударе он едва достигает до траектории молотка, тогда как в вертикальном пересекает ее и заходит еще

далеко вверх. Может быть, вы заметите это яснее на рис. 79 и 80. В связи с этим же молоток в наибольшем замахе (который я буду называть заносом молотка) располагается почти горизонтально при отводном ударе, а при вертикальном запрокидывается далеко назад. Вы можете легко видеть, что при переходе от замаха к удару молоток должен совершать гораздо больший поворот при вертикальном ударе, чем при отводном.

Путь локтя отличается в обоих типах удара особенно резко. Всего лучше вы это усмотрите из подлинных циклограмм. Он так типичен, что по одному виду его на циклограмме вы всегда без труда установите, какого типа был удар. Вот глядите. При отводном ударе путь локтя есть маленький овалчик, наклоненный назад; иными словами, локоть движется назад и вверх. Так как надплечье, как вы видите из рис. 76, смещается очень мало, то движение локтя вверх может быть в действительности только результатом движения наружу; то, что видно на рис. 76, изображает ведь на плоскости движение, в действительности пространственное, т.е. отвлекается от его глубины. Движение локтя при вертикальном ударе имеет не менее характерную форму рога, торчащую острием вверх и вперед. Размах локтя в этом втором случае гораздо больше, чем при отводном ударе. Наконец, смещения плеча, как видно опять-таки из тех же рисунков, тоже больше при вертикальном ударе, чем при отводном.

Итак, смещения всех частей при вертикальном ударе в общем больше. У одного только предмета размах меньше — и именно у молотка. При вертикальном ударе рук размахивается больше, а результирующее движение инструмента выходит меньше. Такова сводка первых наблюдений.

Выразим в цифрах то, что пока было высказано словами. Можете принять за правило такой подсчет. Конечная скорость бойка перед ударом при правильном движении должна составлять приблизительно столько метров в секунду, сколько дециметров имеет в длину размах бойка. Таким образом, при размахе в 80 см нормальная ударная скорость бойка будет 8 метров в секунду. В нашем примере длина траектории бойка вертикального удара (рис. 77) составляет 58 см, ударная скорость — 6,4 метра в секунду; в отводном ударе (рис. 76) длина траектории 67 см, ударная скорость 8 метров в секунду. Следовательно, и длина пути бойка, и ударная скорость (а следовательно, и сила удара) в нашем примере вертикального удара процентов на 20 меньше, чем у отводного. Посмотрим, какой ценой куплена она в том и в другом случае.

Путь кисти руки у отводного удара составляет 53 см, а у вертикального — 75 см. Путь локтя равен у первого 13 см, а у второго — 23 см. Значит, меньший эффект удара при вертикальном способе требует, однако, процентов на 30-40 большего взмаха руки. Мы можем усмотреть еще одно

обстоятельство. При ударе одной рукой обычно 0,9 всей ударной скорости получается за счет мышц, и только, примерно, 0,1 — за счет падения молотка с высоты. При рубке зубилом молоток поднимается очень невысоко; но уже раз он поднялся, надо суметь использовать всю ту работу, которую он может совершить, опускаясь обратно. Вот цифры, показывающие, как происходят поднимания при том и другом типе удара.

И там, и здесь приходится поднять на некоторую высоту как молоток, так и центр тяжести руки. Так как подъем молотка полностью используется при его обратном падении, а подъем центра тяжести руки никак не используется, то, очевидно, выгоднее строить движение так, чтобы центр тяжести руки поднимался возможно меньше, а молоток в то же самое время — как можно больше. Так вот, в нашем примере центр тяжести руки поднимается при вертикальном ударе на 25 см, а молоток в то же время — на 21 см. При отводном ударе центр тяжести руки поднимается на 18 см, а молоток — на 27 см. В первом случае проигрыш на 4 см, а во втором — выигрыш на 9 см. Все это уже дает некоторые ориентировочные данные.

Перейдем к скоростям. И здесь принцип рассуждения остается тем же: цель удара состоит в достижении известной скорости молотка; все остальное суть вспомогательные приспособления, которые надо конструировать как можно экономнее. Скажем так: все то, что непосредственно не необходимо для придания молотку скорости — то вредно. С этой точки зрения и размах, и скорости движения руки должны быть как можно меньше, так как непосредственной пользы они не приносят. Размах и ударная скорость молотка должны быть как можно больше, а замашная скорость молотка опять-таки не должна быть большой, так как и от нее непосредственной пользы нет. Вот и пересмотрим с этой точки зрения скорости обоих типов.

Взгляните на рис. 78. Он изображает скорости движения при отводном ударе. Левая сторона есть замах, правая — удар. Смотрите сперва удар. Сплошная кривая есть скорость молотка. Пунктирные кривые — скорости сочленений руки. Как видите, даже самая большая из них более чем вдвое ниже ударной скорости молотка. В цифрах скорость кисти равна здесь 3,7 м/с, тогда как скорость молотка есть 8 м/с. Если посмотрите замах, то увидите, что и здесь скорости кисти всюду много ниже, чем скорости молотка. Да и сама замашная скорость молотка почти втрое меньше, чем ударная. Экономия здесь явственно соблюдена.

А вот соответствующие цифры для вертикального удара. Ударная скорость молотка — 6,4 м/с, соответствующая скорость кисти — 5,1 м/с. Кисть движется мало чем медленнее молотка; для чего это нужно, неизвестно. Гораздо меньшая скорость молотка, чем в отводном ударе, покупается ценой гораздо большей скорости кисти.

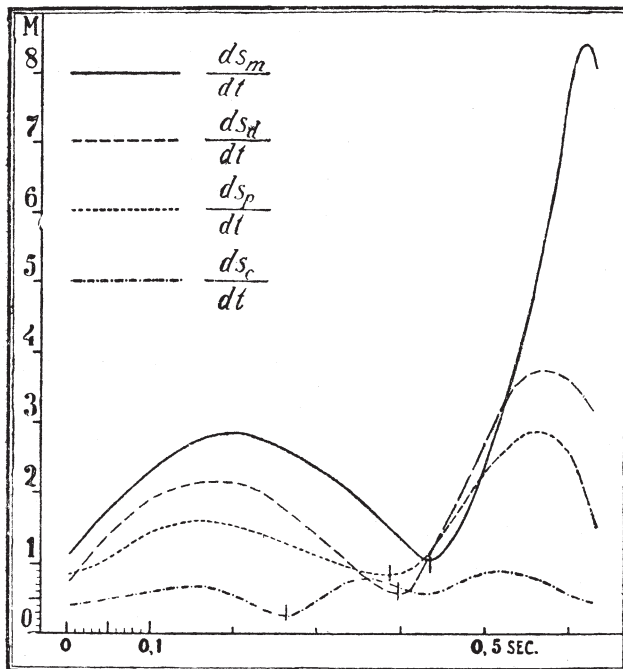


Рис. 78. Скорости движения частей правой руки с молотком при правильном ударе (рубке зубилом):

- скорость центра тяжести молотка,
- скорость пальцев,
- скорость запястья,
- · - · - скорость локтя

Далее внизу — десятые доли секунды; деления слева — метры в секунду;
От 0 до 0,4 с — замах, от 0,4 до 0,6 удар

Возьмем другой отводной удар, поменьше (рис. 79), чтобы ударная скорость его подошла к таковой нашего образца вертикального удара. Мы получим такие отношения.

	Отводной удар	Вертикальный удар
Ударная скорость молотка	6,3 м/с	6,4 м/с
Скорость замаха молотка	1,7 м/с	3,0 м/с
Наибольшая скорость кисти	2,6 м/с	5,1 м/с

То же самое соотношение, как оказывается, имеет место при всех сравнениях этих двух типов. Всегда при вертикальном ударе замечаются

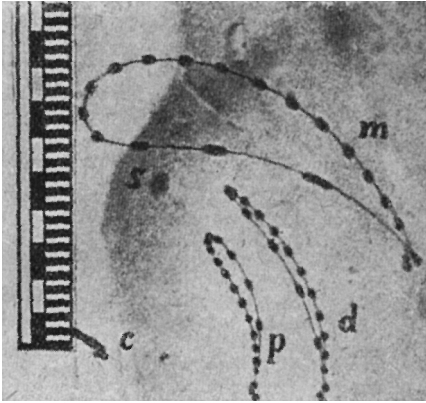


Рис. 79. Циклограмма отводного удара, близкого к нормали б. Снято автором в ЦИТе

чрезмерные скорости во всех тех местах, где от них нет непосредственной пользы. Пробегі сочленений тоже оказываются при вертикальном ударе больше, чем это нужно.

Приостановим на время систематический разбор обоих ударов и займемся циклограммами. Мне хочется, чтобы вы непосредственно получили впечатление, что я не нарочно подобрал цифры и случаи. Начнем просмотр с вертикального удара.

На рис. 80 дан еще один типичный вертикальный удар.

Теперь вы уже знаете, как читать циклограмму по первому взгляду. Вы здесь видите уже хорошо знакомые вам черты. Таким же своеобразным рогом выглядит путь локтя; так же высоко заносится кисть — путь ее составляет здесь больше 50 см; так же глубоко западает назад молоток. Путь молотка здесь опять мал (44 см); мала и ударная скорость (5,1 м/с). Вы хорошо помните, что скорость движения тем больше, чем реже расставлены

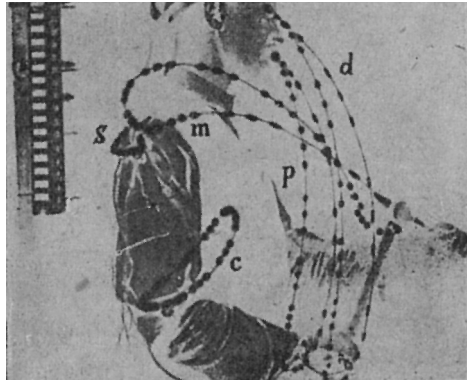
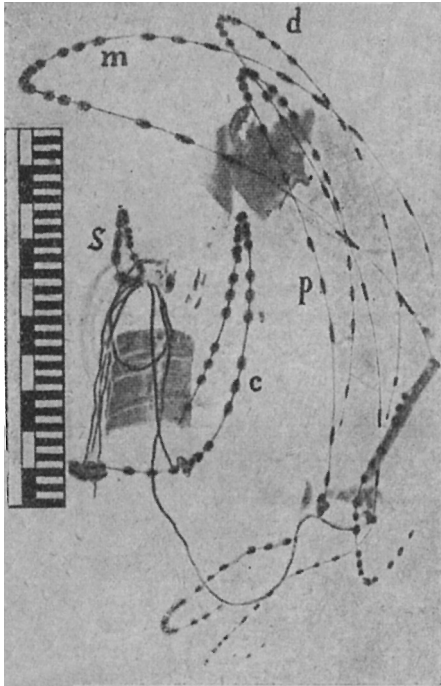


Рис. 80. Циклограмма вертикального удара. Снято автором в ЦИТе

точки на циклограмме. Так вот на рис. 80 видно, что ударная скорость молотка почти не больше наибольшей скорости кисти.

Вот вам другой образчик вертикального удара (рис. 81). Может быть, вы узнаете и то лицо, которое здесь заснято. На этом снимке опять-таки все подробности вертикального удара вам знакомы; обратите внимание только на огромные хвосты, которые спускаются от каждой траектории в мгновение удара вниз, сантиметров на 30. Можете угадать, что это такое? Это отдача, отлет молотка после удара вниз. (Восклицания слушателей: верно, да, он и сейчас так ударяет)! Выясним, хорошо это или нет? Во-первых, мы



*Рис. 81. Циклограмма рубки зубилом.
Вертикальный удар с большой отдачей.
Снято автором в ЦИТе*

имеем здесь лишнее движение, протяжение которого взад и вперед достигает 60 см; это уже не экономно. Во-вторых, отскок молотка происходит тогда, когда удар пришелся по зубилу не вдоль его оси, а косвенно. В этих случаях не вся живая сила молотка используется для удара; значительная часть ее идет на отскок молотка; эта часть тем больше, чем значительней был наклон направления удара к оси зубилом. Вся эта часть, очевидно, при ударе теряется; мало того, ее еще приходится тормозить рукой. Поэтому я решительно советую вам избегать таких отскоков и косых ударов, как бы изящны они вам ни казались.

Прибавлю к слову, что этот же самый испытуемый дал мне за год пред тем совершенно другую циклограмму, очень по-

хожую на отводной удар. За этот год он, по-видимому, переучил себя по ЦИТовскому образцу, и без особой для себя пользы.

Вот вам совершенно замечательная циклограмма (рис. 82). Ее сразу даже не поймешь. Я заснял ее с одного, очевидно, особенно рьяного ученика, в ту пору, когда в ЦИТе особенно рьяно преподавался вертикальный удар. Разобраться в этой циклограмме вам помогут буквы: m — обозначает путь молотка, d и p — пути кисти, c — путь локтя. Последний — таков же, как всегда.

Во-первых, вы видите здесь фантастически глубокий занос. Впечатление такое, как будто человек собрался ударить себя самого по спине. Здесь путь кисти составляет 68 см, а путь молотка — всего 39 см, т.е. почти половину. Скорость кисти тоже очень значительная: наибольшая скорость кисти такова же, как и ударная скорость молотка. Но самое занятное в этой циклограмме не бросается в глаза сразу. Обратите внимание на то место траектории молотка, где он из замаха переходит в удар, т.е. на момент

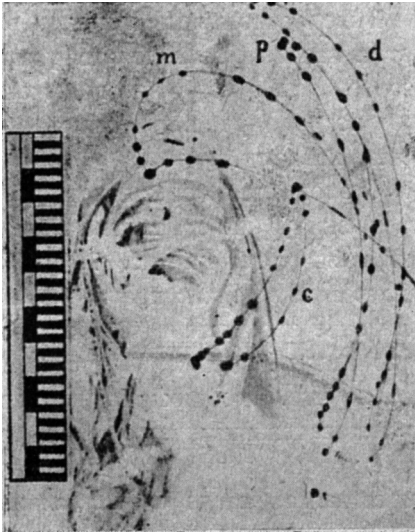


Рис. 82. Циклограмма рубки зубилом. Вертикальный удар с преувеличенно-глубоким заносом молотка. Снято автором в ЦИТе

заноса. По всей циклограмме, как и в большинстве остальных, точки идут по три. В этом же месте между двумя тройками сидит одна единственная жирная точка. Что это значит? Ни более, ни менее как то, что молоток здесь остановился на время протекания целой тройки точек. Из очертаний пути кисти в соответствующее время видно, что кисть успевает пройти к низу добрых 15 см, в то время как молоток почти не движется.

Здесь скрывается еще одно лишнее движение, и притом гораздо более грозное, чем то, которое мы заметили при отскоке молотка от зубила вниз. Грозное оно потому, что наблюдается уже во всех вертикальных ударах без исключения.

Ведь задача ударного движения — сообщить разгон бойку молотка. Ясно, что если какое-то движение руки совершается при вполне или почти неподвижном молотке, то это движение не приносит никакой пользы. Именно так произошло при ударе, заснятом на нашем рисунке 82; но, может быть, можно предположить, что виноват здесь не способ удара, а неумелость испытуемого? Оказывается, нет.

Пересмотрите все изображения вертикального удара, которые я вам показал, и вы заметите на всех них одно общее явление. Молоток начинает на своем ударном пути приобретать скорость, разгоняться, только тогда, когда ось его рукоятки установится по касательной к направлению движения, т.е. когда молоток начнет двигаться вдоль самого себя. В своих статьях об ударе я приводил механические объяснения этого явления; здесь не могу повторять их. Важно то, что оно проявляется, как закон, с неизменной правильностью.

Как вы видите, на всех наших циклограммах ударная часть пути молотка начинается почти горизонтально, только изредка с небольшим наклоном снизу вверх. Следовательно, по касательной молоток установится только тогда, когда рукоятка его будет почти горизонтальна. Если молоток был в заносе далеко завален назад, то вся часть его движения до тех пор, пока рукоятка не станет

горизонтальной, пропадает без пользы. За это время он, оказывается, механически не может нагнать скорость. Это особенно откровенно выявилось на рис. 82: здесь он все время, пока рукоятка не станет горизонтальной, просто стоит. На других снимках он в том же месте движется, но всегда замедленно, и точки циклограммы в этом месте более сжаты.

Вывод таков: кусок замаха, связанный с завалом молотка назад, и весь кусок ударного движения, возвращающий его обратно в разумное положение, представляет собою ненужную потерю времени и силы; механического результата они все равно не дают.

С этой точки зрения интересно сравнить последовательные положения руки с молотком при том и другом типе удара, как они выясняются на рис. 76 и 77. Оба рисунка подтверждают высказанные сейчас правила. Как помните, на обоих ударное движение изображено черным, движение замаха — светлым. Начало ударного движения определено по признаку, изложенному только что. В обоих рисунках промежуток времени между двумя последовательными положениями составляет $\frac{1}{15}$ секунды. Во-первых, хорошо видно, что при отводном ударе молоток не заносится далее, чем до горизонтального положения. Поэтому ударное движение может после замаха начаться сразу, с самого удаленного конца траектории. В противоположность этому рис. 77 (вертикальный удар) вызывает невольное впечатление, что лучше бы уж молоток в заносе стоял неподвижно, как он это и делает в рис. 82, чем бесполезно двигаться вперед, укорачивая этим и без того небольшую возможную для него длину ударного пути. В самом деле, на схеме рис. 77 ясно видно, как коротка деятельная часть его пути. Даже при очень большой силе, приложенной к молотку на этом протяжении, т.е. при значительном ускорении, он не успеет на таком коротком пути наверстать большую скорость. Так обычно и получается.

Перейдем теперь к циклограммам, снятым с случаев отводного удара. Я уже показывал вам две таких (рис. 67 и 79); по недостатку места ограничусь еще только одной, изображающей не сильный удар — около 4 метров в секунду (рис. 83). На всех трех циклограммах вы можете усмотреть общие им всем характерные черты. Перечислю их вкратце. Везде величина траектории молотка (она повсюду помечена буквой *m*) гораздо больше всех остальных траекторий. Везде траектории сочленений руки (как кистевых *d* и *p*, так и локтевого *c*) наклонены назад, а не вверх и не вперед, как бывает при вертикальном ударе. Везде скорость всех этих сочленений много меньше ударной скорости молотка. В самом молотке всюду резкая разница между скоростями замаха и удара. Все движение производит впечатление чего-то сконцентрированного на одной основной цели — ударном конце движения молотка. Эта экономия скоростей, проявляющая себя в циклограмме малы-

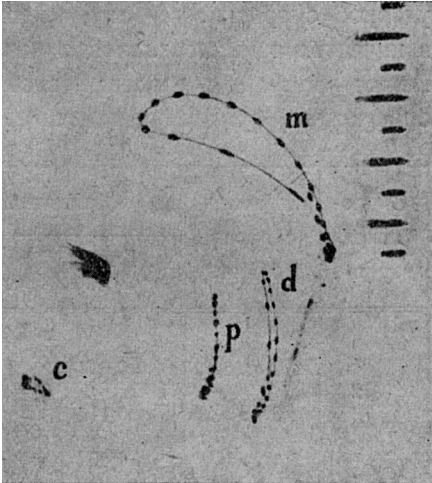


Рис. 83. Циклограмма рубки зубилом. Удар, приближающийся к нормали 4. Снято автором в ЦИТЕ

ми промежутками между двумя последовательными положениями, особенно картинно видна на схеме (рис. 76). Здесь велик один единственный промежуток, соответствующий предупредному движению молотка. Он один вобрал в себя сравнительно большую скорость, и так и кажется, что все остальные части движения как можно больше сэкономяны в его пользу.

Что же, неужели все вертикальные удары так безнадежно плохи? К сожалению, да. Неужели все отводные удары так безукоризненно хороши? Ну нет, этого никак нельзя сказать. Я вам открою один маленький секрет. Вертикальные

удары я вам показывал всякие, а из отводных отобрал только наилучшие, как это выяснилось в результате подробного изучения. Те три отводных удара, которые были вам сегодня показаны, суть три представителя того типа ударного движения, оказавшегося наилучшим, который представляет собою предложенную мной биомеханическую нормаль удара. Еще очень мало проку в том, чтобы критиковать и осуждать. Гораздо важнее предложить что-нибудь определенное, заведомо хорошее, к чему можно было бы стремиться при обучении. Вот таким утвердительным результатом наших работ по биомеханике удара и является выработанная нами, в свое время опубликованная, биомеханическая нормаль.

От ударных движений требуется в разных случаях разная сила удара. Так как известная сила удара есть в то же время его цель, то естественно распределять удары именно по их силе. А так как сила, в свою очередь, зависит, как мы видели, от ударной скорости, то мы и решили присвоить разным ударам в качестве ярлыков значения их ударных скоростей. Зависимость между ударной скоростью, весом бойка и живой силой удара определяется из следующей таблицы.

Как видно из этой таблицы, можно получить очень разнообразные значения живой силы удара, от $1/20$ кг-метра до 3-х с лишком, комбинируя подходящим образом веса молотков и ударные скорости.

Теперь объясню, что значит первый столбик таблицы: скоростные группы. Описывать нормаль применительно ко всем возможным ударным

скоростям было бы, конечно, невысказано. Между тем ясно что при двух метрах в секунду движение построено иначе, нежели при восьми. Поэтому мы выбрали для описания в качестве нормалей четыре образцовых удара, должностные давать конечные ударные скорости соответственно в 2, 4, 6 и 8 метров в секунду. Все эти нормали получили соответственные номера: нормаль №2, нормаль №4 и т.д. Понятно это?

Рис. 67 есть движение, лучше всех подходящее под нормаль №8 из числа всех заснятых мною ударов. Схема рис. 76 соответствует той же самой нормали. Рис. 79 близок к нормали №6, и, наконец, рис. 83 — к нормали №4. Если вы разглядите их повнимательнее, то найдете в них и много знакомого, и много такого, что виднее из рисунка, чем из какого угодно подробного описания.

Основная мысль всех нормалей — комбинированный бросок плечом и кистью. В меньших нормалях (№№ 2 и 4) на место плеча становится предплечье. В больших (№№ 6 и 8) — распределение ролей в общем таково, что главные ударные двигатели сосредоточены в плечевом и лучезапястном сочленениях, тогда как локтевое и пальцевые сочленения берут на себя по преимуществу заведывание установочными механизмами, т.е. точностью движения и меткостью.

Замах совершается с помощью разгибания плеча. Это движение сперва ведет локоть почти назад, затем вверх. Оно совершается при помощи дельтовидной мышцы. Одновременно с этим происходит вращение плеча вокруг продольной оси наружу и умеренное сгибание локтя. В начале

Скоростная группа	Ударная скорость бойка, м/с	Работа 1 удара (в кг — метрах веса)			
		Боек в 250 гр	Боек в 400 гр	Боек в 600 гр	Боек в 780 гр
2 {	2	0,051	—	—	—
	3	0,114	0,183	—	—
4 {	4	0,204	0,327	—	—
	5	—	0,509	0,765	—
6 {	6	—	0,734	1,101	—
	7	—	—	1,500	1,950
8 {	8	—	—	1,958	2,545
	9	—	—	—	3,223

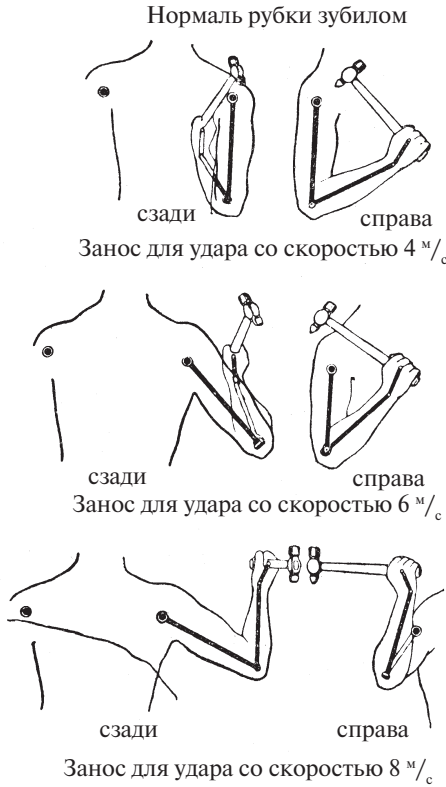


Рис. 84. Занос руки и молотка по нормалям №№ 4, 6 и 8. Вид 1) сзади, 2) справа

замаха слегка напрягаются отводящие мышцы кисти; мышцы, сгибающие пальцы, совершенно свободны в течение всего замаха. В течение замаха происходит еще легкая супинация кисти.

Начиная, примерно, с середины замаха, рука начинает упруго тормозить разлетевшийся назад молоток. Торможение осуществляется медленным включением разгибателя локтя и широкой мышцы спины; в самом конце замаха начинается напряжение приводящих мышц кисти.

В момент заноса или несколько раньше энергично включается большая грудная мышца и в то же время постепенно нарастает напряжение широкой спинной мышцы. В результате их совместного действия плечо начинает перемещаться сперва вперед (в направлении приведения), затем — вперед и вниз, и, наконец,

— вниз и назад, по линии чистого сгибания. Следует подчеркнуть, что эти направления соответствуют наибольшей силе, какую могут проявить эти две мышцы. В то же самое время, благодаря совместному действию большой грудной и широкой спинной мышцы, происходит и вращение плеча вокруг продольной оси внутрь. В локтевом сочленении напрягается разгибатель локтя, а при очень больших размахах — и сгибатель локтя. Наконец, тотчас же вслед за мгновением заноса включаются еще сгибатели трех последних пальцев (от среднего до мизинца).

Среди врагов отводного удара и пророков вертикальной премудрости господствует убеждение, что молоток при отводном ударе не заваливается назад только благодаря судорожному сжатию всех пальцев в кулак на высоте заноса. Это совершенно неверно. Сжатие пальцев в момент заноса

всегда проявляет себя на циклограмме одним и тем же: острым углом, которым оканчивается в этих случаях назад траектория молотка, и малым расстоянием между замашным и ударным путем молотка. Всего этого ни в нормальных, ни в большинстве отводных ударов налицо нет, и каждый из вас, если он умеет наблюдать, заметит, что при отводном ударе пальцы его напрягаются ничуть не больше, чем при вертикальном.

К концу удара, т.е. к моменту наступления самой ответственной части движения, происходит следующее. Большая грудная и широкая спинная мышцы уже произвели к этому времени своего рода артиллерийскую подготовку: они сообщили главным массам руки и ее центру тяжести основную начальную скорость. Теперь на фоне этой начальной скорости вмешивается в дело кисть.

Кисть делает резкий бросок, слагающийся из приведения и небольшой доли супинации. Это происходит за счет быстрого возбуждения приводящих мышц. В то же время скорость, приобретенная предплечьем, тормозится с помощью сгибателя локтя. Наконец, пальцы еще несколько усиливают свое сгибательное напряжение.

Интересно проследить чисто механически, что происходит в этот последний короткий (продолжительность его 5-8 сотых долей секунды) промежуток времени перед ударом. Рука имеет некоторый разгон. Теперь предстоит наилучшим образом использовать этот разгон. Вы понимаете, что живая сила плеча, предплечья и т.д. никакой непосредственной пользы удару не принесут. Для удара нужно одно: живая сила молотка, и только. И вот механический смысл всего, что происходит в последние мгновения перед ударом, и сводится к тому, чтобы всю живую силу, накопленную перед этим всеми звеньями руки, срочно переправить в молоток.

Как известно, работа и энергия уничтожиться не могут; они могут только переходить от одного тела к другому. Вследствие этого получается, что когда звенья руки начинают тормозить свой полет, то при правильном движении живая сила их передается молотку: они тормозятся, а молоток, наоборот, разгоняется. На всех циклограммах правильного удара, а также на многих из циклограмм неправильных, вы обнаружите то, что я сейчас рассказал. Тот самый последний период перед ударом, который выражается у молотка последним и решительным разлетом, у всех звеньев руки сопровождается резким замедлением. Кстати, такое замедление кисти выгодно тем, что заставляет молоток быстро повернуться в руке; а такой поворот гораздо лучше использует рабочие возможности молотка.

Воспользуемся случаем, чтобы сличить между собою мышечный инвентарь обоих типов удара. Мы видели, что при ударе по нормали наиболее ответственные моменты движения совершаются по линии наисильнейшего действия наиболее сильных мышц руки. В противоположность этому при

вертикальном ударе использование мышц гораздо менее полно. Движение локтя и плеча вперед при замахе совершается при нем за счет мелких мышц плеч (ключовидно-плечевой мышцы), и только очень малая часть дельтовидной мышцы может оказаться при этом содействием. Ударное опускание плеча идет за счет сокращения большой грудной мышцы в гораздо менее выгодном направлении, чем это имело место в случае нормали. В результате меньшего использования работы мышц неизбежно получается более слабый удар.

Вы видели уже из предыдущего положения, что преимущества нашей нормали не исчерпывается только тем, что при ней мышечный инвентарь более тяжеловесен. Сама конструкция всего движения оказывается механически наиболее удобной и наиболее выгодной; и главное ударение я бы сделал здесь именно на конструкции.

Я не буду в этом курсе излагать вам шаг за шагом подробности и цифры, характеризующие наши четыре нормали. Во-первых, они очень подробно описаны в статье моей под заголовком «Биомеханическая нормаль удара», помещенной в сборнике «Исследования ЦИТа» за 1924 год. Во-вторых, я вообще не люблю перегружать лекцию рецептами и цифрами, которые каждые из слушателей может гораздо удобнее и успешнее усвоить по книге. Скажу вам только по поводу первого мотива следующее. Если достаните названную сейчас статью, то смело пропустите первые две главы ее, которые могут отпугнуть вас математикой. Начните прямо с главы «Биомеханика горизонтального удара»; от этого места до конца изложение проведено вполне понятно и рассчитано именно на практиков, подобных вам.

Теперь окинем взглядом очень бегло то, с чем надо поставить ударение на трех пунктах из числа тех, которые в нем содержались.

Во-первых, мы настолько освоились со строение, биомеханическими возможностями и свойствами человеческой машины. На это ушло у нас относительно большое время. Это и понятно, так как достаточное знакомство с основными характеристиками машины позволяет в дальнейшем применить свои знания к всевозможным частным случаям.

Во-вторых, мы вкратце рассмотрели те методы, которые применяются сейчас к биомеханическому изучению движения, и научились на примере бегло пользоваться одним из них. Боюсь, что у нас все же не хватит опыта и подготовки к тому, чтобы изучать движение самостоятельно; но по крайней мере вы получаете некоторую общую грамотность в этом направлении, которая позволит вам критически относиться к предлагаемым учебным приемам и до некоторой степени анализировать их.

В-третьих, наконец, мы проследим более или менее тщательно одно трудовое движение и убедимся, что оно представляет особую сложную и многогранную совокупность взаимодействий между мышцами, сочле-

нениями, центрами тяжести и т.д. Мы успели немножко подметить и то, в какой тесной зависимости друг от друга находятся отдельные детали такого движения, и как изменение в одном месте неизбежно должно отзываться изменениями во всех остальных. Все это было сделано, поневоле, очень кратко, потому что нельзя рассчитывать в десяти лекциях сколько-нибудь исчерпать громадную область биомеханики; но, может быть, те немногочисленные указания, которые я мог успеть вам сделать, принесут вам какую-то пользу и сделают вас хоть и не инженерами человеческой машины, но всяком случае ее умелыми машинистами.

Др Ник. БЕРНШТЕЙН

Статъи по биомеханике

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ПО БИОДИНАМИКЕ БЕГА ВЫДАЮЩИХСЯ МАСТЕРОВ

1. Опорная динамика бега

Из лаборатории изучения движений ЦНИИФК

Техника бега, его физиологическая и динамическая структура издавна привлекали к себе внимание исследователей. Однако, при всем изобилии мнения по этому предмету, еще очень мало объективно известно о том, как именно протекает бег и какова его внутренняя, тонкая динамика. Причина заключается, видимо, в том, что бег есть серия движений, настолько быстрых и сложных, что для их изучения требуются очень чувствительные методы, каких до недавнего времени не было. Лучшее всего, из общераспространенной аппаратуры, пригоден для регистрации бега кинематограф. Однако, нормальный киноаппарат типа «Кинамо» делает только 16 снимков в секунду, а профессиональный аппарат для звуковых фильм — 24 снимка в секунду. Между тем, средний темп бега составляет 3 — 4 шага в секунду, а при спринте может подняться и выше. Это дает по 4 — 8 положений тела на каждый шаг — количество ничтожное по сравнению с тем богатством и быстротечностью силовых переливов, которые содержатся в реальном движении бега. Лучше подходят для научной записи бега современные рапид-киноаппараты, дающие до 100 — 120 снимков в секунду, но записи, даваемые этими аппаратами, не обеспечивают высокой точности измерений и более пригодны для наглядных демонстраций, чем для анализа.

Наиболее мощным орудием для записи движений, с целью их изучения, является в настоящее время циклография. Циклография есть метод записи на фотопластинку или медленно и равномерно движущуюся пленку движения не всего тела человека, а только отдельных избранных точек тела, отмеченных крошечными лампочками (рис. 1)¹. При съемке бега (производимой двумя

¹ Рис. 1 и 2 не показаны (Прим. редактора).

камерами одновременно с двух сторон), на теле испытуемого помещается 21 лампочка. Движения всех этих лампочек запечатлеваются на снимках в виде кривых циклограмм (рис. 21), точнейшим образом воспроизводящих мельчайшие изгибы и подробности движения тех точек тела, к которым они прикреплены. Перед объективами фотокамер помещаются вращающиеся затворы, периодически открывающие и закрывающие доступ света к светочувствительному слою. Такое открывание совершается, по желанию экспериментатора, от нескольких десятков до нескольких сот раз в секунду и приводит к тому, что каждая кривая циклограммы оказывается разбитой на серию отдельных точек, равноотстоящих друг от друга по времени. Это позволяет вести очень точный учет изменений скоростей и ускорений всех заснятых точек тела. Точная и довольно сложная вспомогательная аппаратура обеспечивает строжайшую одновременность (синхронность) работы затворов обеих фотокамер; скорость их работы поддерживается автоматически на одном неизменном уровне и может быть стабилизирована с точностью до сотых долей процента. Все эти приспособления обеспечивают циклографическим снимкам очень высокую точность и детальность.

С помощью именно такой аппаратуры нами были засняты в 1934 и 1935 гг. на стадионе ГЦОЛИФК выдающиеся мастера бега на средние дистанции: Ж. Лядумег, братья С. и Г. Знаменские и А. Федоров. Применявшаяся нами съемочная частота варьировала от 160 до 190 снимков в секунду. В настоящей статье я сообщу некоторые данные, полученные нами в результате подробного анализа этих снимков, из которых избраны лишь наиболее интересные и доступные для изложения в короткой статье.

Таблица 1. Съемки бега стилем миттельштрек на стадионе ГЦОЛИФК

	Лядумег		Г. Знаменский	С. Знаменский	А. Федоров	
Съемочная частота в сек.	166,7-187,0	166,7-159,0	166,7	166,7-160,0	166,7	
Средняя скорость бега:	м/сек	6,50	6,58	7,79	7,19	7,51
	км/час	23,40	23,70	28,03	25,88	27,04
Число сек. на 400 м	61,5	60,7	51,3	55,6	53,3	
Средний темп, шагов/мин	167,4	175,2	242,4	211,7	212,8	
Длина двойного шага, мм	4660	4510	3855	4076	4236	

Основное отличие бега от ходьбы общеизвестно. При ходьбе опорное время каждой ноги продолжается дольше, чем переносное. Поэтому опор-

ные времена обеих ног частично заходят друг на друга, и есть такие интервалы, когда тело опирается одновременно на обе ноги. При беге опорное время ноги короче переносного, поэтому интервалов двойной опоры там не существует. Наоборот, для бега характерны интервалы, когда ни одна нога не опирается о землю, и тело находится в полете, говоря точнее, — в состоянии свободного падения. Таким образом, ходьба есть чередование одноопорных и двухопорных интервалов, а бег — чередование одноопорных и полетных интервалов.

Для того, чтобы уяснить второе, наиболее существенное отличие бега от ходьбы, надо обратиться к разбору движения центра тяжести тела при ходьбе и беге. Центр тяжести тела ни при ходьбе, ни при беге не движется равномерно и прямолинейно. В обоих случаях он описывает в пространстве сложную волнистую кривую, двигаясь по ней то быстрее, то медленнее. Рассмотрим вертикальную слагающую его движения.

Если тело человека не имеет никакой внешней точки опоры, то его центр тяжести движется по параболической кривой, обращенной выпуклостью вверх. Двигаясь по этой кривой «свободного падения», центр тяжести испытывает постоянное ускорение, направленное книзу и равное величине $g=9,81$ м/с. Если тело человека имеет постоянную и неизменную опору, в точности поддерживающую его вес (например при спокойном стоянии), то центр тяжести тела находится на постоянной высоте, т.е. испытываемое им по вертикальному направлению ускорение равно нулю. Эти два факта помогут нам установить связь между характером движения центра тяжести тела и действующими на тело внешними силами.

Для того, чтобы центр тяжести тела не испытывал никакого ускорения ни вверх, ни книзу, т.е. двигался равномерно по (горизонтальной) прямой, нужно, чтобы ему все время сообщался через внешние точки тела подпор, в точности равный статическому весу тела. Если величина этого подпора (так называемой, опорной реакции) становится меньше статического веса, то путь движения центра тяжести начинает тотчас же искривляться книзу. Когда опорная реакция падает до нуля, искривление пути центра тяжести тела книзу становится наибольшим возможным, сравниваясь с искривлением пути брошенного в воздух камня. Наоборот, для того, чтобы придать пути центра тяжести тела искривление вверх, необходимо придать опорной реакции величину, превышающую статический вес тела. Чем она больше, тем искривление пути центра тяжести вверх будет круче.

Итак, тот хорошо изученный факт, что центр тяжести тела и при ходьбе, и при беге движется волнообразно то вверх, то вниз, доказывает, что опорные реакции (т.е. противодействия давлению ног на опорную

поверхность) изменяются во времени, становясь то больше, то меньше статического веса тела. Давление ноги или ног на опору наибольшее, когда путь центра тяжести всего сильнее искривлен кверху, т.е. когда этот центр тяжести проходит через свое наинизшее положение. Наоборот, минимум опорного давления имеет место тогда, когда центр тяжести тела находится близ своего наивысшего положения. Так бывает и при ходьбе, и при беге.

Мне удалось показать многими опытами, что амплитуда изменений опорных реакций при ходьбе¹ почти точно пропорциональна весу тела и квадрату темпа ходьбы. Соотношение между этими величинами выражается формулой

$$A=0,000026 PN^2,$$

где А – амплитуда изменений опорных реакций, Р – вес тела и N – число шагов в минуту. Нижеследующая табличка дает понятие о величинах этих амплитуд для разных темпов ходьбы человека, весящего 60 кг.

Таблица 2. Амплитуда изменений опорных реакций и значение максимумов и минимумов опорных реакций для разных темпов ходьбы

(вес испыт. 60 кг)			
Темп шагов в мин.	Амплитуда, кг	Максим. давления, кг	Миним. давления, кг
60	5,6	65,6	54,4
70	7,6	67,6	52,4
80	10,0	70,0	50,0
90	12,6	72,6	47,4
100	15,6	75,6	44,4
110	18,9	78,9	41,1
120	22,5	82,5	37,5
130	26,4	86,4	33,6
140	30,6	90,6	29,4
150	35,1	95,1	24,9
160	40,0	100,0	20,0
170	45,1	105,1	14,9
180	50,5	110,5	9,5
190	56,3	116,3	3,6

¹ Иными словами, величина наибольших отклонений опорной реакции от своего среднего значения, равного статическому весу.

Таким образом, при ходьбе человек как бы весит то меньше, то больше своего действительного, статического веса. С увеличением темпа размахи этих изменений динамического веса становятся все больше, пока, при наивысших темпах, давления на опору не начинают падать временами всего до нескольких килограммов. Здесь достаточно уже ничтожного изменения в механике движения, чтобы опорное давление начало уже падать до нуля — и в этот именно момент ходьба перейдет в бег.

Из всего изложенного вытекает основное динамическое отличие бега от ходьбы. При ходьбе амплитуда опорных реакций всегда меньше статического веса, и в некоторых интервалах давление на опору становится нулевым. Это и есть интервалы полета, характерные для бега. Итак, второе разобранное сейчас отличие бега от ходьбы есть, очевидно, причина первого, упомянутого выше.

Однако, разница между ходьбой и бегом отнюдь не чисто количественная; напротив, в результате изложенных количественных различий

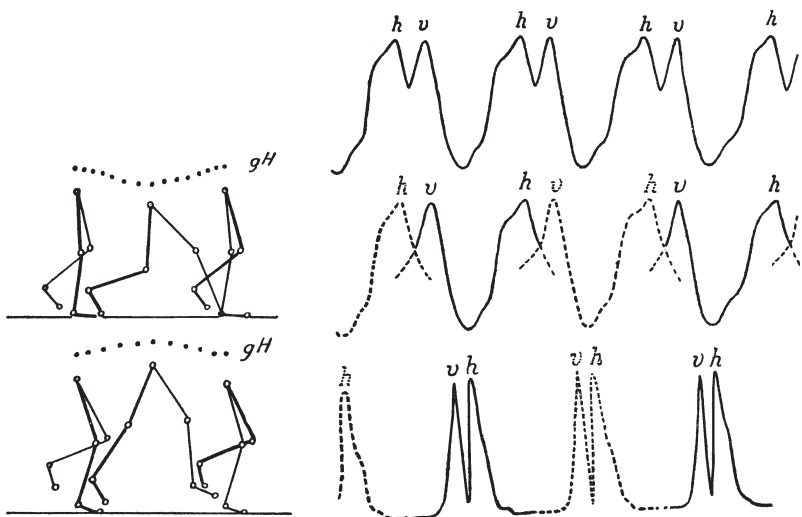


Рис. 3. Кривая движения центра тяжести тела при ходьбе (наверху) и беге (внизу).

На этом схематическом рисунке ясно видна противоположность между ходьбой и бегом

Рис. 4. Схема динамических толчков при ходьбе (наверху) и беге (внизу). h — задний толчок, v — передний толчок. Средняя кривая показывает, как динамическая волна опорных реакций складывается при ходьбе из толчков обеих ног: толчки одной ноги изображены сплошной кривой, а толчки второй ноги — пунктирной кривой. Так же сделана и нижняя кривая, относящаяся к бегу

возникают очень глубокие качественные отличия всей структуры движения, временами переходящие в прямые противоположности между обоими видами локомоции.

Наинизшее положение центра тяжести тела, а, следовательно, и наибольшее значение опорных реакций, приходится при ходьбе на двухопорное время, когда ноги разведены и обе стопы касаются пола (рис. 3). Наивысшее положение центра тяжести и минимум опорного давления приходятся при ходьбе на время проноса одной ноги мимо другой.

При беге соотношения как раз обратные: как видно на том же рис. 3, наинизшее положение центра тяжести тела и максимум опорного давления имеет место в фазе проноса одной ноги мимо другой, а при широко разведенных ногах центр тяжести проходит через свою наивысшую точку, а опорные давления равны нулю.

При ходьбе нога начинает свою опору, когда другая нога еще не закончила свою (интервал двойной опоры). Опорная динамика только что вступившей на опору ноги, находящейся впереди тела, начинается передним толчком (v), затем задняя нога отрывается от земли и проносится мимо опорной, которая в этот момент проходит через фазу минимума давления (m), наконец, переносная нога снова прикасается к земле уже впереди от опорной, и в этот момент ставшая задней опорная нога сообщает телу свой задний толчок (h), тотчас вслед за которым разыгрывается передний толчок только что вставшей на опору передней ноги. Эти чередования лучше всего уясняются из рис. 4. Каждая отдельная нога начинает свою опорную деятельность передним толчком, затем следует минимум и, наконец, задний толчок; но общая динамическая волна двухопорного времени, соответствующая наинизшему положению центра тяжести, складывается из заднего толчка одной ноги и переднего толчка другой, причем, в каждой такой волне задний толчок наступает раньше переднего (на $0,08 - 0,12$ сек).

При беге двухопорных интервалов нет. Деятельность каждой опорной ноги, так же как, и при ходьбе, начинается передним толчком и кончается задним, но эти толчки наступают очень близко один за другим по времени и отдалены от соответственной пары другой ноги глубоким провалом полетного времени; поэтому при беге основная динамическая волна, соответствующая наинизшему положению центра тяжести тела, дает передний толчок раньше заднего.

Из всех перечисленных особенностей бега вытекает, между прочим, одно обстоятельство, ярко характеризующее рост динамической нагрузки ног при беге по сравнению с ходьбой. Максимум опорного давления, т.е. максимум нагрузки ножных мышц, приходится при ходьбе на время двойной опоры, и тогда это возросшее давление распределяется на обе ноги.

Таблица 3. Опорные нагрузки на одну ногу при ходьбе и беге
(вес. исп. 60 кг)

Давление, приходящееся на одну ногу при:			
	Темп	максимуме	минимуме
Ходьба	60	32,8 кг	54,4 кг
	80	35,0	50,0
	100	37,8	44,4
	120	41,2	37,5
	140	45,3	29,4
	160	50,0	20,0
Бег (приближенные данные)	180*	155,0	0
	167**	284	0

* Полубег, скорость 10,4 км в час.

** Бег Лядумега, скорость 23,4 км в час.

Когда опору несет одна нога, имеет место минимум давления, т.е. облегченные условия для мышечной нагрузки. При беге же и сами по себе динамические амплитуды давлений больше, чем при ходьбе (при беге они обязаны быть больше статического веса), и приходится они на время опирания одной ноги, поскольку двухопорных интервалов при беге вообще нет. Приводимая ниже таблица 3 дает понятие об имеющих место при ходьбе и беге опорных нагрузках на одну ногу.

Заслуживает внимания, что максимальные и минимальные значения давлений при ходьбе выравниваются, т.е. нагрузка каждой ноги становится наиболее равномерной при темпах 100 -120 шагов в минуту, относимых всеми физиологами-энергетиками к оптимальным темпам ходьбы.

Гигантская нагрузка опорной ноги при профессиональном беге может вызвать недоумение. Однако, порядок величины определен здесь, во всяком случае, верно, и объяснение столь большой величины может легко быть дано. Я остановлюсь на этом объяснении с двух точек зрения. Во-первых, является правилом, что среднее значение давления на опору при любом виде локомоции должно быть в точности равно статическому весу. При беге изрядные интервалы времени – интервалы полета – проходятся при нулевом давлении, и эти нулевые интервалы должны быть полностью возмещены увеличением опорной силы в кратковременные опорные

интервалы. Понятно, что чем длительности опорных интервалов короче, тем выше должна быть возникающая в этих интервалах опорная динамическая волна. Можно образно сказать, что за время опорного интервала бегун обязательно должен набрать достаточное «количество» силы (точнее, достаточный импульс силы) на все предстоящее время полета; и чем ограниченнее отпущенное им себе для опоры время, тем интенсивнее должен идти в это время, «набор» силы. Мы увидим ниже, что у Лядумега полетное время почти в два раза продолжительнее опорного; следовательно, среднее значение опорного давления на опорном интервале должно уже равняться у него тройному весу, т.е. $57 \times 3 = 171$ кг. А так как динамическая волна опорной реакции нарастает и опадает постепенно, да еще раздваивается у вершины на два толчка (передний и задний, рис. 4, v и h), то максимальная высота этой волны должна быть еще значительно больше.

Во-вторых, стоит указать на следующее. Задача опорной волны при беге, по сути, сводится к тому, чтобы поймать падающий по параболе свободного падения центр тяжести тела, остановить его падение и подбросить его снова примерно с той же силой вверх. Задачу остановки падения центра тяжести при беге выполняет в основном передний толчок, задачу подброса — задний толчок. Если сосредоточить внимание на переднем толчке (считая задний толчок близким к нему по величине), то можно рассчитать, чему должна равняться средняя сила этого толчка в зависимости от: а — высоты, с которой падает центр тяжести тела, и b — высоты рессорного проседания опорной ноги, принимающей на себя падение тела.

Сумма обеих величин а + b есть разность между наивысшим и наименьшим положением центра тяжести тела при данном беге. Вторая величина, b, носит еще название амортизационного прогиба ноги.

Обозначим скорость, достигнутую падающим центром тяжести к моменту его подхватывания опорной ногой, через V, среднюю силу амортизационного (переднего) толчка через f. Так как в полетном интервале центр тяжести падает как свободно падающее тело, то, по законам механики, к концу интервала падения а его скорость $V = \sqrt{2ga}$. Если считать силу амортизации, f, постоянной на протяжении всего амортизационного прогиба b, то продолжительность амортизации должна составлять $2b/V$. В течение этого времени сила f снижает скорость центра тяжести от значения V до нуля; поэтому

$$V = \frac{fg \cdot 2b}{p \cdot V}$$

где p — вес тела испытуемого. Преобразуя только что выведенное уравнение, находим

$$V^2 = 2b \cdot \frac{fg}{p},$$

но в то же время $V^2 = 2ga,$

откуда $\frac{b fg}{p} = ga$

и, наконец, $f = p \cdot \frac{a}{b}$

Таким образом, средняя сила переднего толчка во столько раз превосходит вес тела, во сколько раз путь падения центра тяжести a больше амортизационного прогиба b . Этот вывод справедлив, разумеется, не только для бега, но и для всяческих видов прыжка.

Амортизационный прогиб b при беге составляет у исследованных мной бегунов 20-25 мм, общий вертикальный размах движения центра тяжести тела $(a+b)$ – 80-120 мм. Отсюда a равняется 60-95 мм., отношение a/b колеблется от 3,0 до 3,8. Во столько же раз должна превышать средняя сила толчка f величину веса испытуемого, т.е. мы приходим снова к величинам найденного ранее порядка.

Примем в качестве среднего значения прогиба b для прыжка величину 0,5 м и выразим высоту прыжка a (точнее, высоту подъема центра тяжести тела над его положением в покое) в метрах. Тогда будем иметь

$$f = 2p \cdot a,$$

т.е. для прыжка на каждый метр высоты падения надо насчитывать по удвоенному весу на силу амортизации.

Опорный интервал имеет безусловно решающее значение для техники бега. Мы видели, с количественной стороны, каковы те усилия, которые разыгрываются в нем у бегунов. Теперь вкратце проанализируем его с другой точки зрения.

На рис. 5 изображены схематически последовательные положения правой стороны тела Лядумега при беге с частотою 187 в секунду. На рис. 6 даны в виде палочковых схем положения левой ноги при беге Г. Знаменского (наверху) и С. Знаменского (внизу). На обоих рисунках очень хорошо видны соотношения между опорным и переносным временем ноги бегуна.

Трудно отделаться от впечатления сходства этих рисунков (особенно рис. 6) с ажурными, решетчатыми мостами. Бег и в самом деле похож на мост; он переносит тело через значительные отрезки пространства без непрерывного опирания на почву. Но только этот мост – динамический, части которого существуют не в одновременности, а лишь в последовательности. Тем не менее, функциональные части обоих явлений сходны: опорные интервалы – это устои моста, пункты, в которых сосредоточи-

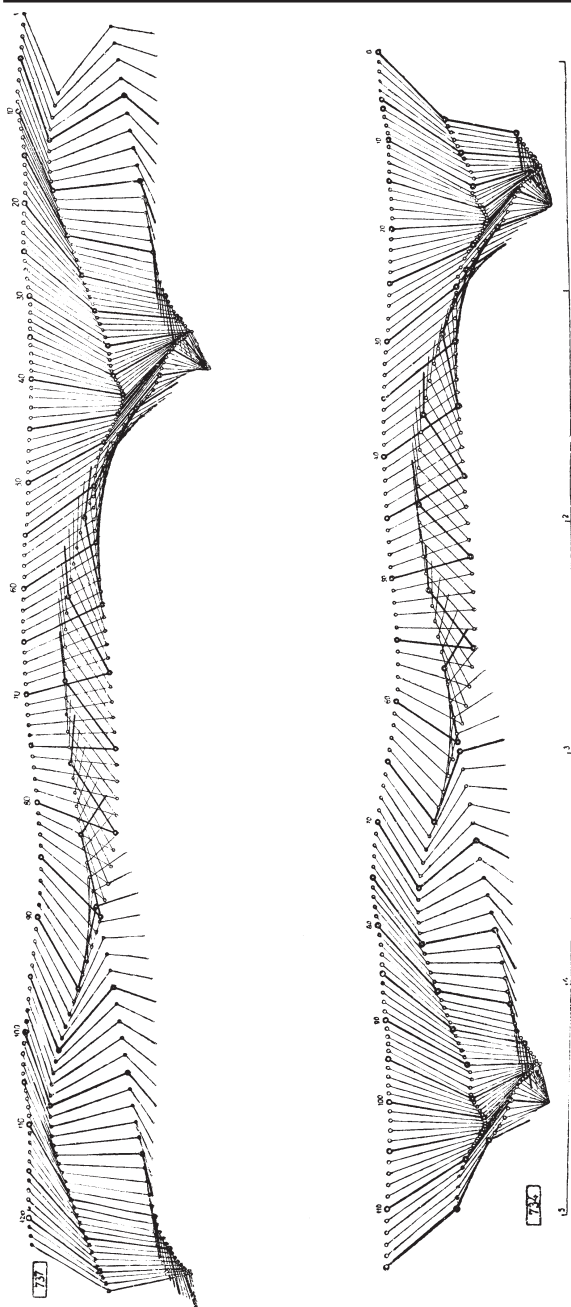


Рис. 6. Последовательные положения левой ноги при беге у Г. Знаменского (наверху) и С. Знаменского (внизу). Частота 167 в секунду

ваются все опорные силы; полетные интервалы — фермы моста, могущие существовать, не падая, благодаря силам, передаваемым на них с опор. Существенная разница между мостом и бегом — в том, что при беге эти силы, возникающие в опорных интервалах и поддерживающие тело во время полетных интервалов, — динамические, а не статические, а прочность структурных элементов моста заменена в беге силами инерции.

Приведенная аналогия дает нам сразу ряд критериев для суждения об экономичности и целесообразности той или иной манеры бега. Так, мы можем, конечно, считать наиболее легким и экономичным тот мост, у которого, при данной затрате материала, опоры наиболее редки, т.е. пролеты имеют наибольшую длину. То же должно быть справедливо и для бега, причем здесь вместо затраты материала придется говорить уже о затрате динамических усилий. Сопоставим изученных нами бегунов в отношении длины их шага.

Таблица 4. Длины двойного шага при беге (в мм)

Испытуемый	Длина двойного шага
Г. Знаменский	3855
С. Знаменский	4076
А. Федоров	4236
Ж. Лядумег	4510
	4660

Обратимся к экономичности. Наибольшей легкостью и воздушностью обладает, несомненно, тот мост, у которого устои занимают наименьшее протяжение, а пролеты — наибольшее. По отношению к бегу это значит, что легкость и экономичность бега должна находиться в прямой зависимости от того, какую часть всего движения занимают опорные интервалы и какую — переносные. Начнем с сравнения длительности тех и других.

Таблица 5. Длительности опорных интервалов у разных бегунов

Испытуемый	Длительность всего опорного интервала		Длительность между передними и задним толчками	
	Секунды	В % к длительности одиночного шага	Секунды	В % к длительности одиночного шага
А. Федоров	0,168 – 0,171	58,6 – 60,6	0,075 – 0,078	26,6 – 27,6
Г. Знаменский	0,126 – 0,129	51,0 – 52,2	0,054 – 0,060	21,8 – 24,2
С. Знаменский				
правая сторона	0,129 – 0,132	45,6 – 46,6	0,060 – 0,066	21,2 – 23,2
левая	0,132	46,5	0,078	27,5
Ж. Лядумег				
правая сторона	0,134	37,4	0,059	16,4
левая	0,126	35,2	0,059	16,4

Из таблицы 5 ясно видно, что опорные интервалы Лядумега, будучи по абсолютной длительности сходными с тем, что наблюдается и у других бегунов, значительно короче их в процентном отношении ко всей продолжительности одиночного шага. Особенно близко по времени он ставит передний и задний толчки (через 0,06 сек один за другим), что составляет всего лишь около 16 % длительности одиночного шага. Привожу еще таблицу протяжений опорных интервалов в пространство у изученных бегунов (см табл. 6).

Таблица 6. Пути, проходимые тазобедренным и коленным сочленениями в опорном интервале у разных бегунов

Испытуемый	Тазобедренное сочленение				Коленное сочленение			
	Опорный интервал		Отрезок между передним и задним толчком		Опорный интервал		Отрезок между передним и задним толчком	
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
Г. Знаменский {	892	46,2	319	16,4	465	24,0	165	8,5
	932	48,2	365	18,8	492	25,4	190	9,8
С. Знаменский	879	43,2	470	23,1	480	23,6	275	13,5
А. Федоров {	1236	58,4	527	24,9	791	37,4	282	13,3
	1231	58,2	505	23,9	770	36,3	291	13,7
Ж. Лядумег {	861	36,9	324	13,9	442	19,0	186	8,0
	-	-	-	-	383	16,4	163	7,2

И здесь Лядумег дает заметно более низкие цифры, особенно в процентном выражении. На рис. 5 позы переднего и заднего толчков выделены жирными линиями, что позволит читателю оценить расстояние между ними самому. Передний толчок обозначен буквами С, β, задний – буквой D.

Что касается экономичности толчков, то здесь может представить интерес следующая таблица.

Таблица 7. Значение вертикальной слагающей усилий в центре тяжести всей ноги во время главных толчков и суммарные количества кг по обоим толчками на 1 мин бега

Испытуемый	Передний толчок в кг на единицу веса тела	Задний толчок в кг на единицу веса тела	Суммарно по обоим толчкам за минуту бега в кг на единицу веса
С. Знаменский	1,10	0,96	434
А. Федоров	1,27	1,48	585
Ж. Лядумег правая	1,18	1,16	392
	левая	0,88	1,25

Преимущества экономичности на одну минуту бега и здесь на стороне Лядумега. Оговариваюсь: съемка братьев Знаменских была произведена осенью 1934 г., съемка А. Федорова – осенью 1935 г., и я не сомневаюсь в том, что к настоящему времени техника этих уважаемых спортсменов успела сильно усовершенствоваться.

В следующей статье я подвергну анализу более тонкую динамику изученных бегунов и постараюсь осветить структурные зависимости между элементами их движений как в опорном, так и в переносном времени.

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ПО БИОДИНАМИКЕ БЕГА ВЫДАЮЩИХСЯ МАСТЕРОВ

II. Динамика ноги при беге

Из лаборатории изучения движения ЦНИИФК

Самой существенной особенностью метода циклографии является возможность очень углубленных расшифровок и тонкого количественного анализа регистрируемых движений. Совокупность приемов, применяемых при измерении и анализе циклографических снимков, получила уже в литературе самостоятельное наименование циклограмметрии и развилась в большую отрасль исследовательской техники. Для уяснения основных положений настоящей статьи необходимо будет дать краткие пояснения относительно сущности циклограмметрии и получаемых с ее помощью материалов о движении.

Циклографический снимок движения переводится фотографическим путем на миллиметровую сетку, при большом увеличении. Такой фотопромер циклограммы бега изображен на рис. 2 моей первой статьи¹. Каждая пунктирная кривая фотопромера есть след движения одной из опознавательных лампочек на испытуемом, в точности воспроизводящий картину движения определенного пункта его тела. Каждая точка такого пунктира — изображение мгновенного положения изучаемого пункта тела. Промежутки времени между смежными точками циклографического пунктира, имеющие величину порядка $1/150 - 1/300$ секунды, могут быть, при современной аппаратуре, измеряемы с величайшей точностью. Во всяком случае, при циклографической съемке с частотою 200 в секунду ошибка в определении такого промежутка времени не превышает $1/40000$ секунды.

Положения всех точек световых пунктиров циклограммы (так называемые координаты) прочитываются с помощью сильной лупы. Полученный этим путем координатный материал содержит в себе гораздо больше, чем могло бы показаться с первого взгляда. Помимо точных (до 1 мм натуральной

величины) данных о последовательных положениях каждой изучавшейся точки тела, этот материал дает возможность подойти к значительно более глубоким динамическим процессам, лежащим в основе данного движения.

На циклограммах бега видно, что движения каждого пункта тела не прямолинейны и не равномерны. Это значит, что скорости движения точек тела все время изменяются и по направлению, и по величине (то же справедливо и по отношению к ускорениям). В каждое следующее мгновение и скорость и ускорение пункта тела иные, чем были в предшествующее мгновение. На протяжении длительного интервала времени, — например, одной секунды, — и скорость, и ускорение изучаемого пункта тела успевают совершить ряд сложных и в то же время закономерных изменений. Все эти изменения могут быть точно замерены по фотопромеру циклограммы и изображены в виде кривых. Таким образом, циклограмметрический анализ позволяет не только учитывать средние, суммарные значения скоростей и ускорений, но, что гораздо важнее для понимания динамики движения, позволяет судить о всех тончайших изменениях этих переменных величин от мгновения к мгновению, не упуская ни одной, даже самой мимолетной, перемены в их поведении. Последующее изложение дает для этого ряд примеров.

Может быть еще важнее то, что помимо кривых скоростей и ускорений циклограмметрический анализ позволяет в очень многих случаях получать кривые динамических усилий, имевших место при изучавшемся движении. Метод определения усилий несколько сложнее и требует большего количества предпосылок, нежели метод расчета скоростей и ускорений. Тем не менее, основываясь на ряде уже проделанных анатомических и антропометрических исследований (Брауне — Фишера и автора с сотрудниками), можно с достаточной уверенностью мерить динамические усилия по циклографическим фотопромерам и следить за их изменениями от двухсотой доли секунды к двухсотой с не меньшей уверенностью, нежели по отношению к скоростям и ускорениям. Практическое значение этой возможности очевидно. В проанализированном циклодокументе мы имеем перед собой одновременно, с одной стороны, подробнейшие данные о протекании движения тела и его частей в пространстве и во времени, а с другой стороны, не менее подробные сведения о протекании переменных динамических сил, лежавших в основе этого движения в качестве его наиболее непосредственных причин. Анализ взаимодействия этих сил показывает, что в известной своей части они возникают и определяются в результате механических взаимовлияний: действия тяжести, инерции, рычажных соотношений в суставах и т.д. Выделение и анализ этой части сил позволяет вскрыть и проанализировать одну сторону движения: его механику. В другой же, и едва ли не преобладающей — части динамические усилия живого движения не могут быть сведены к

механическим взаимоотношениям и взаимодействиям. Эта часть усилий происходит за счет активной деятельности мышц, побуждаемых к действию центральной нервной системой. Поэтому анализ динамики движения в этом втором аспекте позволяет вскрыть гораздо более глубокие его стороны: его нервную динамику, участие и деятельность в движении центральной нервной системы и ее координационных устройств.

Перечисленными здесь вкратце переменными величинами далеко не исчерпывается все изобилие материалов, даваемых циклограмметрическим анализом движения. С помощью этого анализа можно, например, получать точные данные о динамике изменения сочленовых углов, о движениях центров тяжести отдельных звеньев тела и целых систем, — например, целой ноги или всего тела, — о моментах мышечных усилий в сочленениях и т.д. Не задерживаясь на этом, важно лишь подчеркнуть, что все получаемые здесь данные дают не отдельные цифровые значения, а детальные кривые изменения, т.е. ни на мгновение не отрываются от самой глубокой сущности живого движения — от факта его динамичной, реактивной и закономерной изменчивости.

Рис. 1 дает понятие о том, как выглядят важнейшие кривые динамических усилий при беге. Две верхние кривые воспроизводят усилия в центре тяжести головы бегущего Лядумега, две нижние кривые — усилия в центре тяжести его правой ноги. В каждой паре верхняя кривая (y) изображает изменения вертикальной слагающей усилия, нижняя кривая — изменения продольной слагающей, направленной сзади наперед (x). Там, где кривые пролегают над нулевой чертой, имеют место усилия, направленные вверх (y) или, соответственно, вперед (x); там, где кривая находится ниже нулевой черты, усилия направлены вниз (y) или же назад (x). По ординатам отложены количественные значения усилий в килограммах; по абсциссам — время в десятых долях секунды. Насколько детально приводимые на рисунке кривые, видно из того, что все изменения, нанесенные на этот чертеж, заняли в общей сложности менее одной секунды (от 0,1 до 1,0 сек). Вертикальные прямые, проведенные через чертеж, дают нам опознавательные мгновения данного движения: v — есть передний толчок противоположной (левой) ноги, h — задний толчок той же ноги, v^1 — передний толчок данной (правой) ноги, h^1 — ее же задний толчок (определения этих понятий см в статье I).

Начнем с ознакомления с динамикой головы. Усилия в центре тяжести головы¹ представляют собою те силы, которые передаются голове

¹ Точнее говоря, на рис. 1 изображены так называемые «усилия в полцентре тяжести» головы. Кривая усилий в действительном центре тяжести головы выглядит очень сходно с изображенной здесь, только ее размахи в два раза больше, чем на рисунке.

через шею со стороны туловища и обуславливают фактическую картину ее движения в пространстве. Как видно из рис. 1, у Лядумега эти сотрясения, испытываемые головой, довольно невелики по размахам и несложны по структуре. Кривая продольных усилий не содержит в себе вообще ничего, кроме мелких зазубринок, не превосходящих двух килограммов в ту и другую сторону. Вертикальная слагающая усилий изменяется по более выразительному закону. На рисунке ясно видно, что в опорных интервалах, иначе говоря в области толчков v и h , имеют место плавные подъемы кривой. В этих местах, отмеченных на чертеже буквами А и CD, голова испытывает подталкивающее усилие кверху, передающееся к ней, конечно, от ног и составляющее для всей головы около 15-16 кг. При весе головы около 4 кг это составляет около четырехкратного значения собственного веса — величина довольно значительная, но подъем и спуск кривой совершаются плавно и замедленно, что спасает голову от чрезмерно резких толчков. На всем протяжении полетных интервалов кривая вертикальных усилий головы совершает только мелкие колебания вокруг нулевого уровня. Колебания эти закономерны и могут быть с уверенностью размечены буквами, как это и сделано на чертеже. Они возникают в результате определенных силовых толчков нижних элементов тела; но в настоящем изложении эти тонкости не представляют интереса, и я остановлюсь лишь на следующем наблюдении.

Если бы кривая вертикальных усилий держалась в течение полетных интервалов все время строго на уровне нуля, то это обозначало бы, что на центр тяжести головы не действуют в это время никакие силы, т.е. что голова

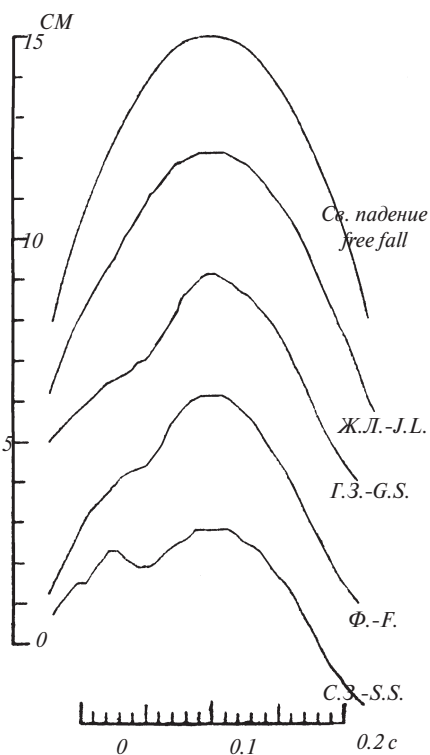


Рис. 2

движется по закону свободного падения. Так именно и движется в полетных интервалах общий центр тяжести всего тела бегущего человека. Но зазубринки головной кривой Лядумега в этих интервалах так малы, что в результате движение его головы чрезвычайно мало отличается от теоретической параболы на протяжении полетных интервалов. На рис. 2 приведены одна под другой кривые вертикальных перемещений: верхняя — свободнопадающего тела (например, брошенного камня); следующая кривая (Ж. Л.) — вертикальные перемещения головы Лядумега в полетном интервале; наконец, три нижние кривые принадлежат видным советским мастерам спорта. На рисунке ясно видно, как близка кривая движения головы Лядумега к теоретической параболе и насколько угловатее ее движение у других мастеров. На рис. 3 даны кривые усилий головы для тех же трех советских мастеров, где хорошо видно, насколько эти кривые менее плавны и более обильны толчками даже в полетных интервалах.

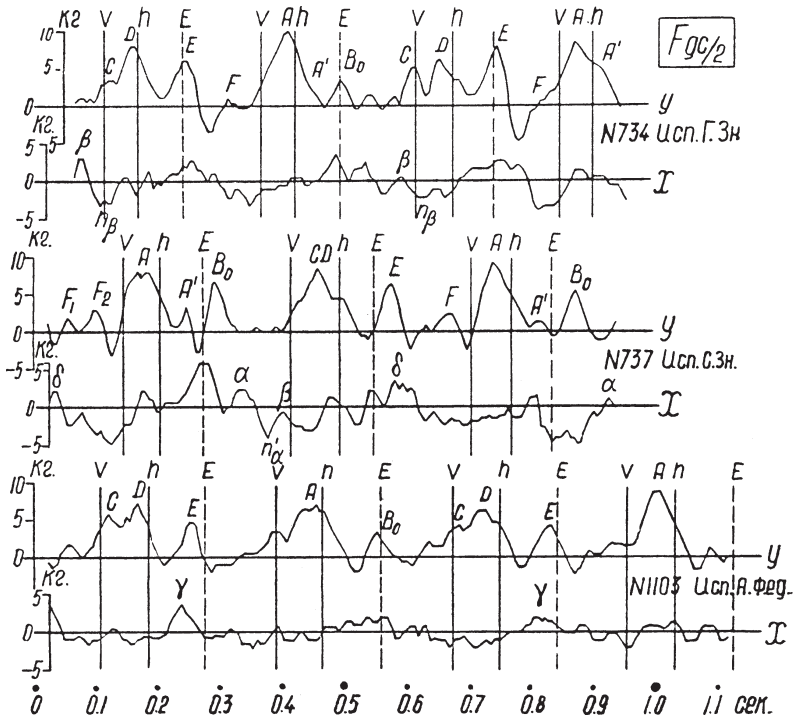


Рис. 3

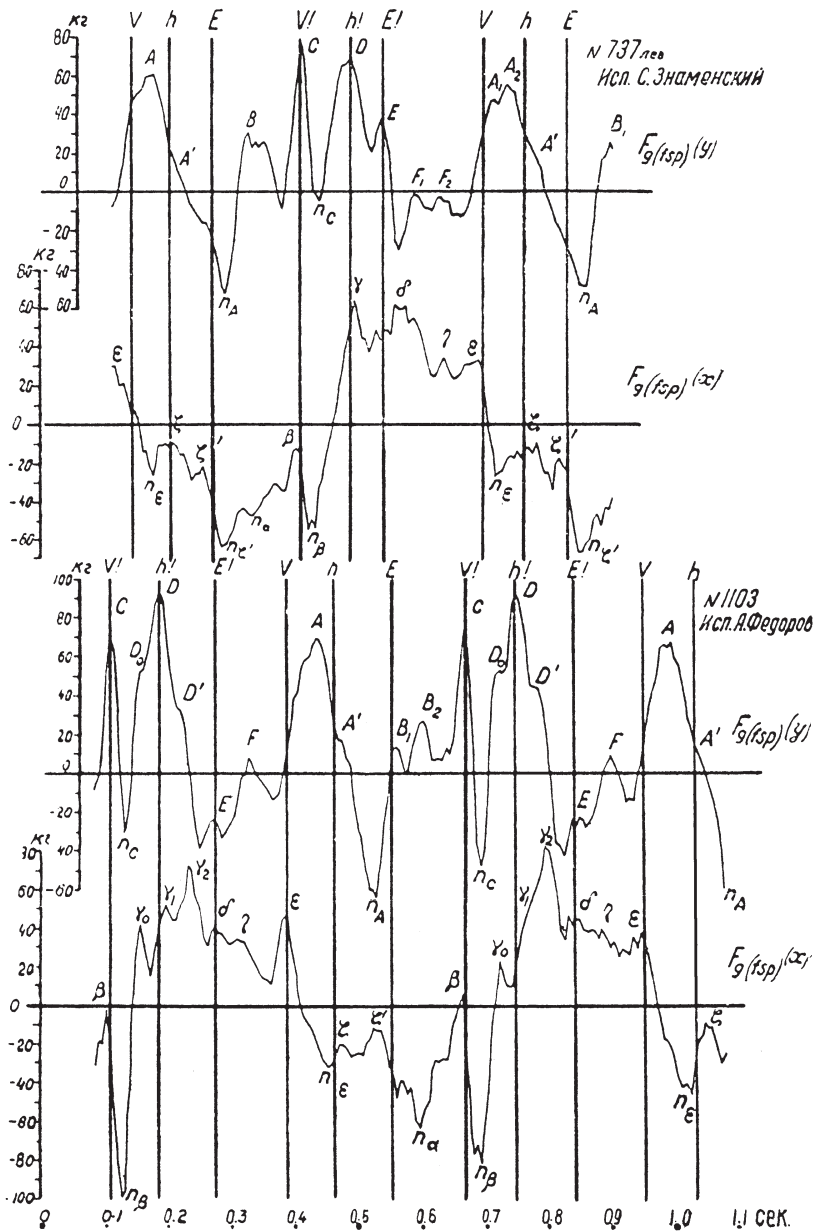


Рис. 4

Динамика ног, как и следует ожидать, несравненно интенсивнее и богаче внезапными изменениями, нежели динамика головы. На рис. 1 внизу приведены вертикальная (y) и продольная (x) слагающие усилий в центре тяжести правой ноги Лядумега. Рис. 4 содержит соответственные кривые мастеров С. Знаменского (наверху) и А. Федорова (внизу). Все эти кривые необычайно богаты деталями и структурными элементами. Я попробую помочь читателю извлечь из них хотя бы самое основное.

Все эти кривые размечены буквами. На вертикальных слагающих (y) все важнейшие волны отмечены прописными латинскими буквами (от А до F), на продольных слагающих (x) — греческими буквами (от α до η). Некоторые из более выдающихся впадин отмечены и тут и там буквой n с индексом предшествующей вершины (например n_A впадина после вершины А, и т.д.).

Присматриваясь на рис. 1 и 4 к соответственным кривым трех описываемых мастеров, мы находим во всех них очень родственные между собой черты. Во всех случаях на интервале опоры противоположной ноги данная нога испытывает очень большое усилие кверху А, за которым следует очень глубокая и резко выраженная впадина n_A . Во всех же случаях передний толчок данной стороны v ! сопровождается высокой и острой вертикальной вершиной С и явственным понятным усилием n_B в продольных кривых x . Задний толчок данной стороны h ! совпадает с другой столь же мощной вертикальной вершиной D, тотчас вслед за которой появляется в продольной слагающей вершина γ . Эти и еще очень многие другие явления с большой регулярностью повторяются у всех мастеров. Очевидно, этот закон чередования динамических усилий обладает большой всеобщностью; и действительно, он имеет место не только у всех исследованных мною взрослых бегунов, но, например, и у всех детей, кроме самых маленьких, как показано в работе Т. Поповой. Индивидуальные различия разных мастеров между собою сводятся, как показывает опыт, отнюдь не к различиям в построении основной динамической формулы бега, а к более тонким расхождениям внутри все той же общечеловеческой формулы: к различиям соотношений размеров волн, различиям их временной ритмики и, наконец, различиям в контингенте и строении второстепенных деталей (волны B_{oe} , D^1 и т.д.).

Для того, чтобы легче было следить за тем, в какие моменты движения имеют место те или другие силовые волны, я привожу здесь рисунки 5, 6 и 7. Все эти рисунки воспроизводят в схематическом виде позы головы, руки и ноги бегуна в наиболее характерные динамические моменты бега, соответствующие вершинам или впадинам их основных динамических кривых. На рис. 5 воспроизведены характерные позы левой стороны Лядумега, на

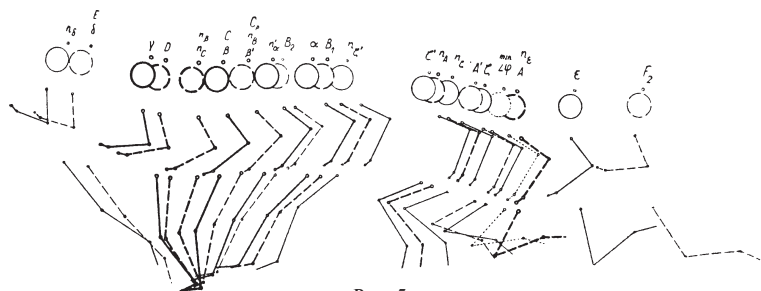


Рис. 5

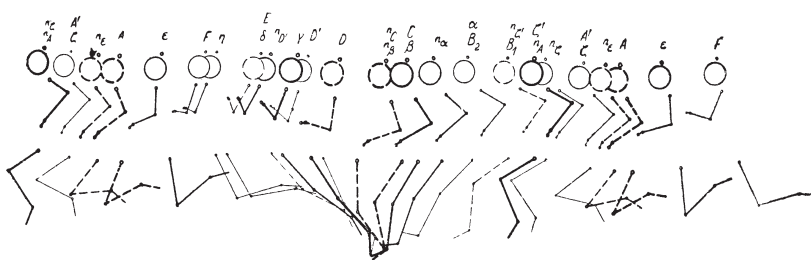


Рис. 6

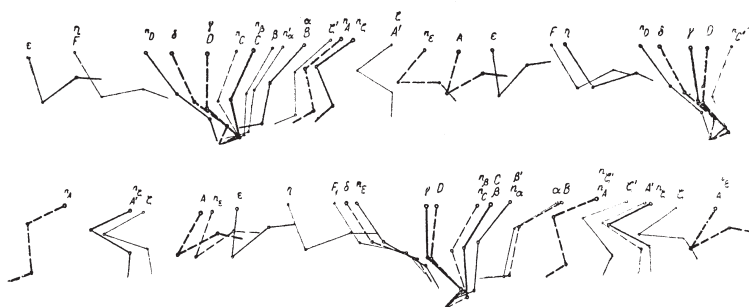


Рис. 7

рис. 6 – А. Федорова, на рис. 7 – левой ноги Г. Знаменского (наверху) и С. Знаменского (внизу).

Упомяну мимоходом, что силовые размахи всех описываемых кривых очень велики: они достигают 60-70 кг в вертикальных кривых Лядумега, 70-80 кг у С. Знаменского и 90-100 кг – у Федорова. Вес ноги составляет от $\frac{1}{5}$ до $\frac{1}{6}$ веса всего тела, т.е. от 10 до 15 кг у взрослого человека. Таким образом, усилия в центре тяжести всей ноги (особенно волны, направлен-

ные кверху) превышают собственный вес ноги в 7–8 раз. Разбор опорной динамики ноги удобно начать с переднего толчка, который выполняет задачу амортизации сотрясения тела в первый момент перехода из полета в опору. Поза ноги в момент переднего толчка обозначена на рис. 5–7 буквами С — β. Она обнаруживает интересные различия у разных бегунов: Ж. Лядумег и Г. Знаменский дают свой передний толчок заметно позже, чем С. Знаменский и А. Федоров. Нога стоит у первых в фазе С значительно более вертикально. Это выгодно, так как способствует уменьшению тормозящей продольной слагающей переднего толчка. Все изученные мною бегуны, кроме Г. Знаменского, дают вертикальный амортизационный толчок С на фоне почти полного падения продольных усилий в ноге (волна β), и затем, уже обеспечив в основном амортизацию, их нога проходит через кратковременную попятную силовую волну n_{β} , направленную почти прямо назад. У Г. Знаменского эта попятная волна n_{β} совершается одновременно с вертикальным толчком С, т.е., несмотря на выгодную позу ноги, он прерпевает в этот момент значительное торможение.

Рис. 8 дает понятие о том, как движется голень Лядумега во время переднего толчка С. На этом рисунке даны последовательные положения продольной оси правой голени через каждые $1/374$ сек. Движение совершается слева направо. В мгновение С, отмеченное стрелкой, голень наклонена несколько вперед; коленное сочленение (s), до этого мгновения спускавшееся довольно круто книзу, испытывает перелом в своем движении и направляется почти горизонтально вперед.

Раз зашла речь о переднем толчке и создаваемом им торможении, то уместно будет упомянуть здесь же об очень распространенном среди бегунов и методистов бега предрассудке, будто бы нога, уже ступившая впереди на землю, способна «подтягивать» к себе тело бегуна и тем убыстрять его движение. Имеющиеся в моем распоряжении материалы категорически опровергают это мнение.

Прежде всего из всех материалов (как, в частности и из кривых рис. 1 и 4) следует с несомненностью, что в первой половине опорного интервала в центре тяжести всей ноги никогда не бывает усилий, направленных вперед (положительных значений кривой x), а всегда имеются более или менее значительные усилия, направленные назад (50–80 кг).

Этого следует ожидать и теоретически. Дело в том, что усилия, которые могут передаваться центру тяжести всего тела через опорную ногу, обязательно должны быть направлены вдоль прямой, соединяющей центр тяжести тела с опорной поверхностью подошвы. Таков закон механики. Следовательно, когда подошва находится впереди центра тяжести тела, как это и бывает в момент переднего толчка С, то сила, действующая на центр

тяжести тела, обязательно должна быть направлена вверх и назад, т.е. должна тормозить центр тяжести тела, а подтягивать его она никак не может. Все, что могут сделать здесь бегуны — это нанести передний толчок С при как можно более вертикальном положении опорной ноги, чтобы максимально уменьшить этим продольную (попятную, тормозящую) слагающую переднего толчка. Это и делает, например, Лядумег, как видно из рис. 5.

Что же приводит бегунов и методистов к их ошибочному предположению? Скорее всего — невольная неточность самонаблюдения, сводящаяся к следующему. В своем переносном времени стопа несется очень быстро, до 15-18 м/с, т.е. до 55-65 км в час. Если она с такой высокой скоростью приземлится, то это вызовет сильнейший толчок о землю и резкое торможение всего движения. Поэтому скорость движения стопы перед ее приземлением — если так можно выразиться, ее «посадочную скорость» — целесообразно по возможности уменьшить. Это достигается тем, что бегун еще в полете замедляет ее движение интенсивным сгибательным импульсом коленных мышц n_{α} (см позу на рис. 6 и 7). Этот сгибательный импульс, очень явственно ощущаемый бегуном, протекает так быстро и так незадолго до начала опоры (от его максимума до толчка С всего лишь около 0,07-0,08 сек), что точно субъективно проанализировать, когда именно он наступает, не представляется возможным. Видимо, бегуну кажется, что это активное сгибательное усилие в ноге затягивается и на начало опорного времени, чего в действительности никогда не бывает. На самом деле сгибательный импульс n_{α} не только успевает за остающееся время даже смениться рядом колеблющихся быстротекущих волн (n_{α}' , α_2 , n_{α}'') длительностью всего по несколько тысячных долей секунды каждая. Эти мелкие волны совершенно неуловимы для самонаблюдения, но циклограмметрический «микроскоп времени» регистрирует их вполне точно.

Большим мастерам удастся достичь очень значительных снижений посадочной скорости стопы перед передним толчком. На рис. 9 приведены на фоне сантиметровой сетки движения точек стопы в опорном времени. В верхней половине чертежа изображены движения голеностопного сочленения (р) и кончика стопы (л) Лядумега; в нижней половине — движение голеностопного сочленения (р) С. Знаменского. Кривые этого рисунка воспроизведены при сильном увеличении непосредственно по циклограммам. На рисунке видно, во-первых, то, что голеностопное сочленение бегуна фактически ни на одно мгновение не останавливается даже в опорное время. Во-вторых, на нем видно, что посадочная скорость голеностопного сочленения Лядумега (т.е. интервалы между последовательными точками рисунка) заметно меньше, нежели у С. Знаменского. То же видно очень ясно из нижеследующей таблицы.

Таблица 1. «Посадочные скорости» точек стопы у разных бегунов в см/сек

Испытуемый		№ опыта	Посадочная скорость	
			голеностопного сочленения, р	кончика стопы, π
С. Знаменский,	лев.	737	77	102
	прав.	737	90	-
А. Федоров,	прав.	737	80	-
	лев.	1103	92	111
Ж. Лядумега,	лев.	731	67	79
	прав.	731	68	89

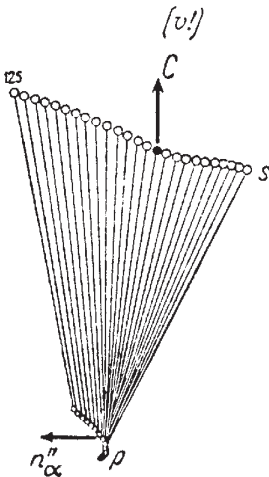


Рис. 8

На рис. 10 (фиг. I верхнего ряда) изображена схематически полная поза Ж. Лядумега в мгновение переднего толчка С. Правые конечности изображены черными, левые – белыми. Стрелки, начинающиеся от кружков, изображают по величине и направлению динамические усилия в центрах тяжести. Кружочки на стопе, голени и бедре суть центры тяжести этих звеньев; двойные кружочки выше коленного сочленения – центры тяжести всей соответствующей ноги. На рисунке видно, что в мгновение переднего толчка силовая стрелка (так называемый силовой вектор) у Лядумега почти не отклонена назад, т.е. создает минимальный тормозящий эффект. На рис. 11, I дано кинематографическое изображение Лядумега в фазе среднего толчка С, где ясно видно напряжение всей мускулатуры его левого бедра,

обеспечивающее телу в этот момент пружинящую опору.

Передний толчок ноги развивается и опадает чрезвычайно быстро. Полная длительность волны С составляет у Лядумега от 0,042 до 0,048 сек. Спустя всего 0,025 сек после своего максимума волна С уже обращается у него в нуль, сменяясь впадиной n_c (рис.1) и попятной кратковременной волной n_p .

Задний толчок обозначен на всех рисунках этой статьи буквой D. В этот момент у всех изучавшихся мною бегунов бедро очень близко к вертикальному положению, голень значительно наклонена вперед (40 -50° к горизонту), колено, испытывавшее наибольший прогиб в середине опорного времени (n_c), так и не распрямляется вплоть до D, накапливая упругую

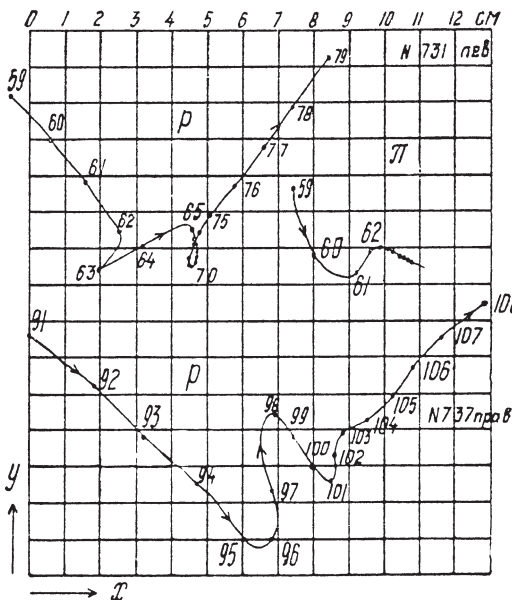


Рис. 9

мышечную силу. С момента D у всех бегунов начинается энергичное распрямление колена, продолжающееся вплоть до фазы E, т.е. до момента отрыва стопы от земли.

Значение заднего толчка понятно само собою. Если передний толчок выполняет в основном задачу амортизации удара ноги о землю, то задний сообщает всему телу запас кинетической энергии, достаточный для того, чтобы перелететь все пространство следующего шага. Говоря образно, языком техни-

ки, можно сказать, что если передний толчок выполняет роль амортизатора, то задний выполняет роль катапульты. Ясно, что техника заднего толчка — чрезвычайно ответственная составная часть техники бега в целом.

Анализ показывает, что структура заднего толчка много сложнее, нежели структура переднего. Он продолжается в общей сложности значительно дольше, чем передний (это видно на рис. 1 и 4, волна D), и состоит из целого ряда сменяющихся элементов.

В основном задний толчок ноги складывается из волны D по вертикальному направлению и волны γ — по продольному. Судя по всему — это есть одна большая силовая волна смешанного направления (вверх и вперед), но вертикальный максимум D наступает почти всегда на 1 — 2 сотых секунды раньше, чем продольный максимум γ . Движение ноги в области заднего толчка хорошо видно на рис. 12, относящемся к Лядумегу и дающем последовательные положения правой ноги через каждые 1/374 сек.

На этом рисунке видно, что к мгновениям D и γ колено проходит через свое наинижнее положение. Стопа поворачивается постепенно вокруг носка, поднимая вверх голеностопное сочленение p. Такое движение в основном обуславливается мощным напряжением икроножной мышцы голени. На рис. 10, в позе III верхнего ряда, видно, что силовые стрелки на-

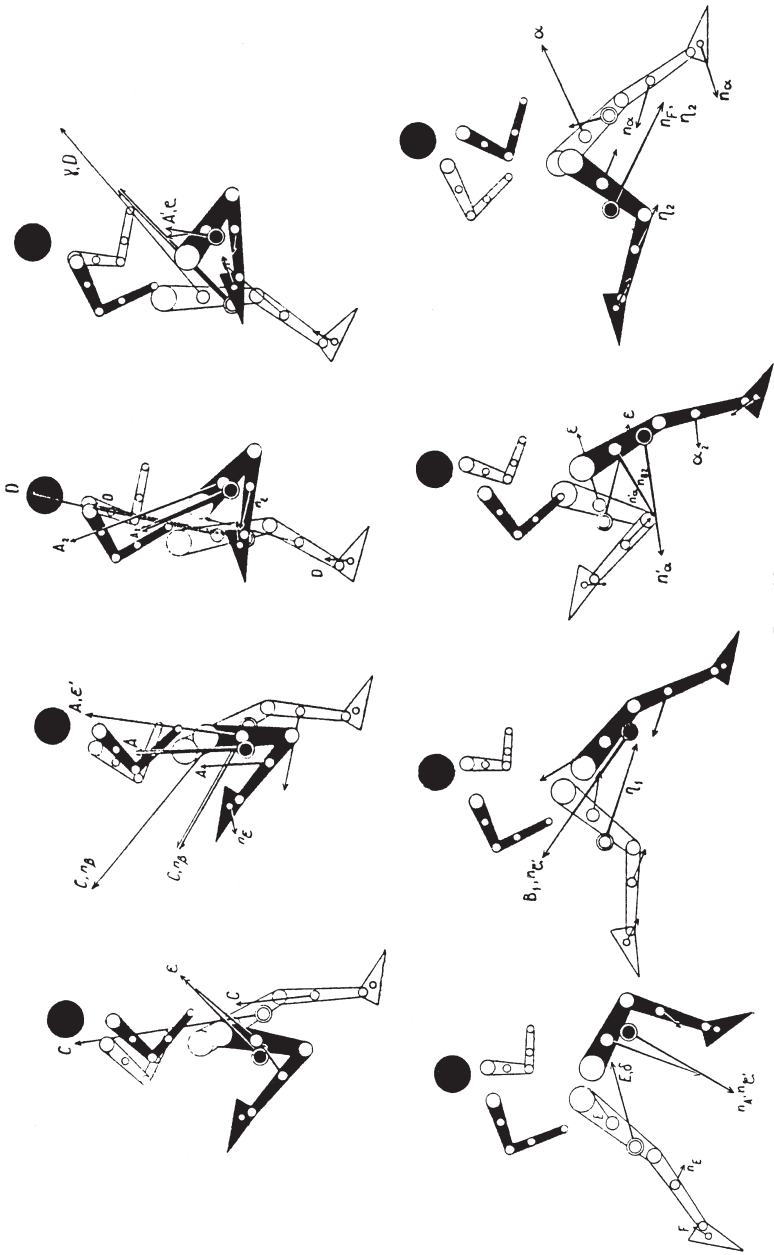


Рис. 10

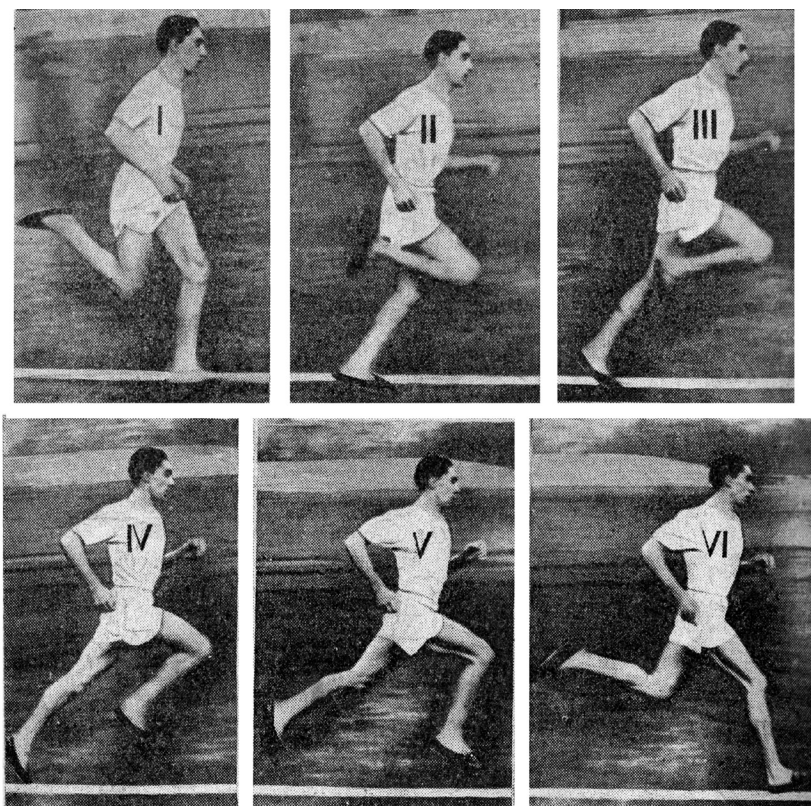


Рис. 11

правлены в момент D вверх и слегка вперед, почти параллельно продольной оси голени. Фактически динамика заднего толчка начинается еще раньше, с мгновения $n_c - n_p$, где уже вступает в работу сгибательная мускулатура тазобедренной группы, толкающая туловище вперед. Максимальный же толчок к взлету дается бесспорно икроножной мышцей.

Создаваемая ею силовая волна поворачивается вперед вместе с голенью, переливаясь из вершины D в продольную вершину γ . Поза в мгновение вершины γ и соответственные силовые стрелки изображены на рис. 10, № IV верхнего ряда. Кинематографические изображения Лядумега в фазах D и γ заднего толчка приведены на рис. 11 соответственно под номерами II и III.

Значение хорошо развитой волны γ для эффективности бега чрезвычайно велико. Давая основной продольный разгон телу перед полетом, эта волна стоит в совершенно явной связи с длиной шага того или другого

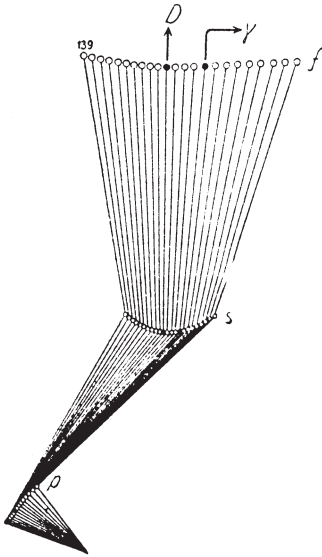


Рис. 12

бегуна. В статье I я приводил в таблице I длины двойного шага у разных изучавшихся мною бегунов. По длине двойного шага на первом месте оказался Ж. Лядумег (451-466 см), затем следовал А. Федоров (423,6 см), С. Знаменский (407,6 см), наконец, Г. Знаменский (385,5 см). Рассмотрение рис. 1 и 4 настоящей статьи показывает, что наибольшего развития волна γ достигает как раз у Лядумега, у которого она резко доминирует, наподобие башни, над всеми остальными волнами продольной слагающей. У Федорова она все еще высока, но уже заметно ниже (особенно на рис. 4 слева); наконец, у С. Знаменского она совсем мала, не выше следующей вершины δ .

Исключительно интересно дальнейшее развитие заднего толчка и его последствий, выражающееся в виде новой пары силовых вершин, ϵ и δ . На рис 13 приведены, все с

той же частотою 374 в секунду, последовательные положения правой стопы Лядумега в самом конце его заднего толчка. Точка p обозначает голеностопное сочленение, точка π — кончик стопы. Этот рисунок непосредственно примыкает по времени к предыдущему рис. 12.

Стопа продолжает поворачиваться вокруг носка вперед, принимая все более крутое положение. Силовая волна γ стопы, наступающая в ней самой позже, нежели в центре тяжести всей ноги, обозначена на рис. 13 стрелкой. Дальше же происходит следующее. Дойдя в своем повороте до наибольшего наклона вперед, стопа вдруг испытывает резкий перелом в своем движении. Голеностопное сочленение p , которое до этого мгновения двигалось по выпуклой кверху кривой, поворачиваясь вокруг носка, как обод вокруг оси колеса, внезапно устремляется по прямой линии наклонно кверху, увлекая за собой по тому же направлению и носок π , который в этот момент отрывается от земли. Этот внезапный перелом движения

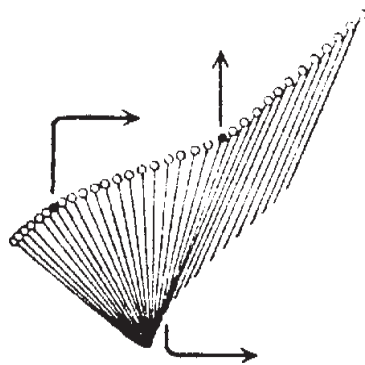


Рис. 13

Таблица 2. Значения сгибательного усилия n_A в центре тяжести переносной ноги, в кг

Лядумег	правая сторона	32
	левая	25
С. Знаменский	правая	71
	левая	56,5
А. Федоров	левая	63
И. Соболев	правая	84
	правая, спринт	110

стопы и отражается в силовых кривых в виде пары вершин Е и δ. Каково же его происхождение?

Такой внезапный взлет стопы никак не может быть делом самой стопы. Покуда она активно отталкивалась от земли (волны D и γ), она отбрасывала все тело вверх и вперед, а сама оставалась назад, отдавая всю развиваемую ею силу вышележащим частям тела. Замечаемый же нами в фазе Е – δ (рис. 13) внезапный прямолинейный отрыв стопы от земли прямо говорит о том, что причина этого отрыва лежит вне стопы.

Так оно и есть на самом деле, и взгляд на рис. 10, позу I нижнего ряда, объяснит нам, в чем суть. В этой позе (относящейся к слегка более позднему мгновению, нежели Е стопы) мы видим, что переносная, находящаяся впереди нога, испытывает очень большое усилие книзу – n_A . Позы, относящиеся к этому усилию n_A , хорошо видны под тем же индексом на рис. 5, 6 и 7. По всем этим рисункам можно заметить, что силовая волна n_A наступает в переносной ноге в момент самого высокого подъема бедра. На рис. 11 эта волна развертывается в передней ноге в позах IV и V.

Рис. 11 показывает очень ясно и мышечное происхождение волны n_A : в позе V этого рисунка особенно ясно заметно, как напряжены в этот момент задние мышцы бедра, т.е. сгибатели бедра и колена. Волна n_A есть интенсивный сгибательный импульс бедренной мускулатуры переносной ноги, стоящий в несомненной связи с фактом большого растяжения этих мышц за счет подъема бедра. Эта связь прямо доказывается более тонкими измерениями, но на ней я не буду здесь останавливаться. Так или иначе, из всех приводимых мною материалов ясно, что к моменту отрыва опорной ноги от земли переносная нога дает интенсивный сгибательный удар книзу, сменяющий ее подъемное движение на опускающее.

Этот активный удар n_A очень силен. Он далеко превосходит по силе вес самой ноги. В табл. 2 я даю его значения в килограммах для изучавшихся мною испытуемых.

Волна n_A протекает с молниеносной быстротой. Она успевает возрасти от половинного значения до своего максимума и снова опасть до половинного значения у

Лядумега справа за	0,078 сек
Лядумега слева за	0,070 сек
Федорова слева за	0.034 сек
С. Знаменского слева за	0,032 сек
И. Соболева справа за	0.033 сек

Таким образом, она врывается в общую динамику переносной ноги буквально как выстрел, и только у Лядумега протекает очень заметно медленнее и на много более умеренных силовых значениях. Вот этот-то яркий динамический эпизод поведения переносной ноги и объясняет причину отрыва опорной ноги от земли и возникновения волн E и δ .

Дело в том, что динамический эффект от усилия n_A получается двоякий. С одной стороны, оно останавливает подъем переносной ноги кверху и бросает ее книзу, навстречу к предстоящей опоре. С другой же стороны, отбрасывая поднятую ногу вниз, оно тем самым реактивно толкает все остальное тело кверху. В этот момент тело бегуна действительно похоже на ракетный двигатель. Набрав за счет заднего толчка D некоторое количество движения вверх, оно далее отталкивается еще больше кверху, уже не от почвы, а от своей собственной переносной ноги, бросая ее мощным толчком книзу и подлетая за счет реактивной силы еще несколько выше. Эта-то сила n_A и есть основная и непосредственная причина отрыва стопы от земли в фазе E . Здесь стопа не отталкивается от земли, а втягивается кверху, вися на всей ноге, которую тянет кверху описанный сейчас реактивный импульс.

БИОДИНАМИКА СТАРТОВЫХ ДВИЖЕНИЙ

Сообщение I

ОСНОВНЫЕ БИОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТАРТОВЫХ ДВИЖЕНИЙ

*Из лаборатории физиологии движения Государственного
центрального научно-исследовательского института
физической культуры*

В № 11-12 «Теории и практики физической культуры» за 1946 г. напечатана статья доцента С.Г. Страшкевича¹, посвященная выполненному им экспериментальному анализу биомеханики одного частного случая стартового движения — старта ходьбы с сомкнутых стоп.

На основании тщательно собранного и вдумчиво проанализированного материала кинограмм этому автору удалось вскрыть и обоснованно опровергнуть некоторые ошибочные утверждения относительно биомеханики старта, содержащиеся в курсах биомеханики ленинградских авторов².

Современная биомеханическая теория, однако, уже достаточно сильна для того, чтобы быть в состоянии осветить в обобщенном виде ряд основных вопросов динамики стартовых движений, в том числе и те, которые подверглись справедливому критическому пересмотру со стороны С.Г. Страшкевича. В связи с этим представляется целесообразным и своевременным изложить здесь эту общую трактовку

¹ Страшкевич С.Г., К вопросу о действии мышц при перемещении проекции общего центра тяжести тела к передней границе площади опоры.

² «Биомеханика физических упражнений», под ред. Е. Котиковой; «Руководство по легкой атлетике», изд. «ФиС», 1939 и др.

основных биодинамических закономерностей стартовых движений. Это полезно уже тем, что сможет переключить внимание исследователей на экспериментальное изучение таких (немалочисленных и назревших) вопросов биодинамики стартовых движений, которые в настоящее время действительно не могут быть разрешены иначе, как только экспериментальным путем.

К обширной и разнообразной по составу группе стартовых движений принадлежат двигательные акты и их части, характеризующиеся двумя четкими признаками: 1) это вступительные движения, вводящие в действие более или менее длительный (обычно, циклический) двигательный процесс, и притом 2) движения, большей частью характеризующиеся наличием стойкого ускорения постоянного направления, — в чистом виде, или, чаще, с наложением на него типичных для нашего двигательного аппарата переменных, колебательных ускорений, что превращает постоянное ускорение в пульсирующее.

По линии обоих этих признаков стартовые движения представляют очень большой интерес для общей физиологии движений и учения о координации. Задача вступительного включения двигательного процесса тесно роднит нервные механизмы, управляющие стартовыми движениями, с лишь недавно вошедшими в круг внимания неврофизиологов вопросами мозговой установки, инициативы движений, их кортикальных пусковых механизмов и т.д. Характерные и полные интереса нарушения этой стороны координационного управления движениями наступают при поражениях лобных долей коры мозговых полушарий и при органических заболеваниях экстрапирамидной двигательной системы (например, паркинсонизм), оттеняя глубокую значимость обсуждаемых механизмов в норме. С другой стороны, активное создание и поддерживание стойкого ускорения обуславливают значительную нагрузку для вестибулярных аппаратов и для мозжечка, открывая этим пути к углубленному изучению их координационных отправлений. Таким образом, за областью физиологии и биодинамики стартовых движений кроется целый ряд проблем большого теоретического значения.

Интерес, представляемый стартовыми движениями для практики, не требует долгого аргументирования. Лыжный старт, стартовый прыжок в воду, начальные фазы разбега при ударе по мячу в футболе или прыжке с шестом ставят на очередь целый список далеко еще не решенных вопросов оптимальной конструкции, стиля и методики тренировки их. Но, может быть, на первом месте среди этих вопросов, выделяясь как по важности, так и по трудности, стоит практическая проблема старта и разбега при ско-

ростном беге — этом загадочном легкоатлетическом упражнении, в котором человек годами оспаривает каждую десятую долю секунды, упражнении, в котором наш Союз еще не завоевал подобающего ему места на международных соревнованиях.

В настоящем первом сообщении охарактеризованы самые основные и общие биодинамические закономерности стартовых движений при локомоциях. Второе сообщение будет посвящено циклограмметрическому анализу биодинамической структуры и энергетики старта и разбега при скоростном беге.

Общая динамическая ситуация, имеющая место при всех сухопутных локомоторных стартах за редчайшими исключениями — даже не только у организмов животных и человека, но и у преобладающего большинства созданных последним самоходных орудий передвижения — характеризуется двумя определяющими чертами. Во-первых, общий центр тяжести (ОЦТ) стартовой системы находится вне опорной плоскости, — как общее правило, над нею; во-вторых, точки приложения стартовых сил и возникновения встречных стартовых реакций находятся на самой опорной поверхности. Эти два обстоятельства налагают свой определяющий отпечаток на все динамические закономерности, связанные с началом (стартом) движения и его ускоренным периодом (разбегом).

Для последующего анализа стартовой динамики будет целесообразно разбить все обсуждаемые стартовые системы на два класса: 1) системы, обладающие продольными связями между точками опоры (или между осями катящихся устройств, что механически не меняет дела), и 2) шарнирно-стержневые системы без продольных связей. Между представителями обоих классов, наряду с принципиальным сходством в самом основном, имеется ряд характерных различий в динамике их стартов. Человек и все животные, опирающиеся на ноги и перемещающиеся с их помощью, принадлежат ко второму классу, но первый заслуживает кратковременного внимания по целому ряду причин. Во-первых, стартовая динамика в системах этого класса проще и яснее, чем у второго, вследствие чего они удобны для вступительного анализа; во-вторых, в них с особой отчетливостью исключена возможность смещений ОЦТ под влиянием тяжести, чем ясно доказывается ненужность работы последней для создания в ОЦТ стартовой силы; наконец, одна из систем этого первого класса — велосипед — представляет уже и непосредственный практический интерес для физической культуры и спорта.

Не вникая здесь во внутреннюю механику движений велосипедиста, исследуем внешние силы, возникающие между системой велосипеда с

седоком и опорной поверхностью при стартовом усилии велосипедиста (рис. 1). Тяга верхней части цепи и передающиеся на заднюю ось противодействие каретки создают между верхними зубьями задней шестеренки и ее осью пару сил $t - t$. Своим моментом эта пара сил вызывает в точке опирания шины на грунт стартовую силу отталкивания U ; при достаточном сцеплении с грунтом опорная поверхность отвечает на нее возникновением равной и противоположной силы противодействия — стартовой опорной реакции S_p , направленной горизонтально вперед.

Чтобы проанализировать передачу этой силы S_p на ОЦТ системы, прикладываем к последнему две равные и взаимно-противоположные силы S и R , первая из которых равна и параллельна силе S_p ; от такого добавления двух взаимно-аннулирующихся сил общая силовая картина ни в чем не изменится. Далее же сгруппируем эти силы в виде: 1) стартовой силы S , приложенной к ОЦТ и направленной горизонтально вперед, и 2) пары сил S_p и R (с плечом h , равным высоте ОЦТ над грунтом), стремящейся опрокинуть систему назад (на рис. 1 — против часовой стрелки). Говоря иными словами: передать стартовую опорную реакцию S_p в общий центр тяжести, лежащий вне опорной плоскости, возможно не иначе, как ценою возникновения стартового момента с опрокидывающим назад направлением действия. Этот момент M равен по величине Sh , т.е. возрастает с повышением ОЦТ системы над поверхностью опоры.

Если выразить этот же стартовый момент M в виде пары сил f_a и f_p , приложенных к крайним точкам опоры системы (рис. 2), и, по условию равен-

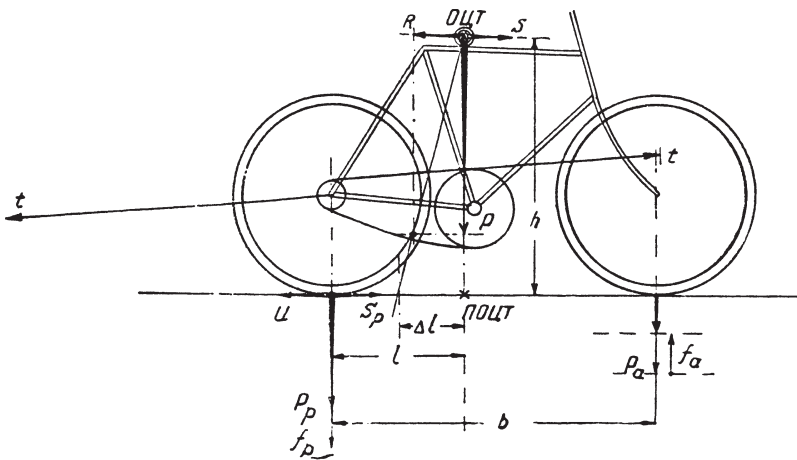


Рис. 1. Схема усилий взаимодействия между велосипедом и поверхностью опоры во время старта

ства $M=Sh=fb$, равных по величине $fa=fp=S \cdot (h/b)$ (b – база системы), – то окажется, что стартовый момент создает перегруппировку нагрузок между передней и задней точками опоры, делая добавку к нагрузке задней точки и в той же мере разгружая переднюю. В системах с зарессоренными осями эта перегруппировка нагрузок во время стартового ускорения проявляется в виде сжатия задних и расслабления передних рессор¹.

Не помешает заметить, попутно, что этот же самый момент, действуя не только на ОЦТ всей системы, но и на ее части, стремится, например, опрокинуть назад пассажира трамвая во время старта или же увеличивает нагрузку на его оставленную назад ногу.

Создаваемую стартовым моментом перегруппировку нагрузок можно трактовать как смещение кзади равнодействующей линии нагрузки, – эффект, который получился бы, если бы ОЦТ системы переместился кзади. Величина этого смещения равнодействующей или фиктивного смещения ОЦТ равна

$$\Delta l = h \frac{S}{P} = h \frac{R}{P} \quad (1),$$

где P – вес системы. Если обозначить стартовое ускорение ОЦТ через a , то, очевидно,

$$\frac{S}{P} = \frac{a}{g}$$

(g – ускорение силы тяжести), откуда следует, что фиктивное смещение Δl равно произведению высоты ОЦТ на его ускорение, выраженное в единицах ускорения силы тяжести.

Если обозначить расстояние от проекции ОЦТ на плоскость опоры (ПОЦТ) до задней точки опоры через l (рис. 2), то возрастание смещения Δl за предел этой величины l равносильно выходу равнодействующей линии нагрузки за пределы площади опоры, т.е. реальному опрокидыванию системы назад. Критическое значение S_{\max} стартовой силы, переход через которое неминуемо вызовет опрокидывание системы, определяется из уравнения

$$l = h \cdot \frac{S_{\max}}{P} \quad \text{и равно} \quad S_{\max} = P \cdot \frac{l}{h} \quad (2).$$

Таким образом, каждая система с определенным весом и расположением частей обладает предельным максимальным значением стартовой

¹ Указанная перегруппировка делает более выгодной передачу силы от двигателя в самоходных экипажах, включая и велосипед, на заднюю ось: прижимая заднее колесо к опоре, стартовый момент способствует лучшему сцеплению его с грунтом, предохраняя стартующую систему от буксования.

силы (а, значит, и стартового ускорения), какое она может развить без опрокидывания. Это значение, как видно из формулы (2), тем больше, чем дальше лежит ПОЦТ системы от задней границы опорной площадки, и тем меньше, чем выше располагается ОЦТ. Из рис. 2 видно, что отношение $l : h$, входящее в формулу (2), есть тангенс угла φ наклона прямой, проведенной из ОЦТ к задней границе опоры, по отношению к отвесу; подставив этот угол в формулу (2), получим ее в виде:

$$S_{\max} = P \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2').$$

Если реальная опасность опрокидывания при стартовых ускорениях мала¹, то при совершенно симметрично протекающих финишных она очень ощутительна (капотирование). Старинные велосипеды с высоким передним колесом и с положением седока и ОЦТ всей системы очень близко от переднего края опоры вышли из употребления в большой степени именно в силу частых случаев их капотирования при торможении.

Описанные выше соотношения ставят в совершенно практическую плоскость вопрос о том, на которой из осей современного велосипеда наиболее целесообразно ставить тормоз. Из всего изложенного следует, что

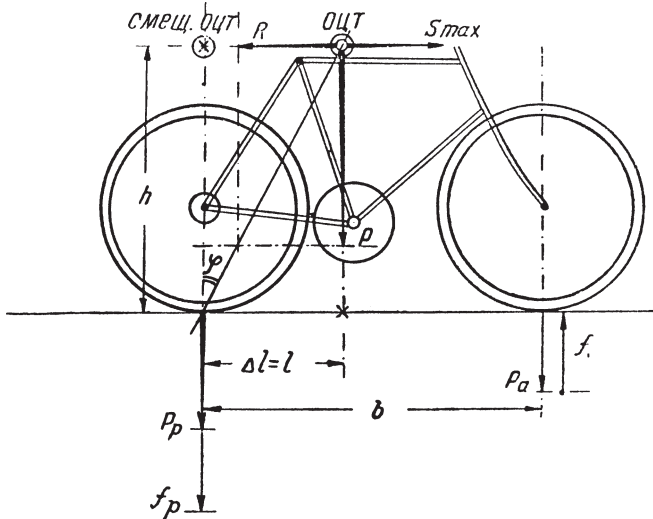


Рис. 2. Эквивалентное смещение ОЦТ И ПОЦТ велосипеда с седоком
сзади во время стартового ускорения

¹ Цирковые акробаты используют сверхкритические значения стартового момента для вздергивания своих велосипедов на дыбы.

критическое значение финишного опрокидывающего момента и максимальной допустимой силы торможения зависит только от веса системы и тангенса уже характеризовавшегося угла (на этот раз — относительно переднего края опоры); следовательно, сами по себе они никак не связаны с тем, исходит ли торможение от заднего или от переднего конца площади опоры. Разница между обоими расположениями тормоза заключается, однако, в том, что возникающий при торможении финишный момент прижимает к грунту переднее колесо и ослабляет контакт с грунтом заднего. Поэтому, если тормоз помещается на переднем колесе, то финишный момент все больше содействует сцеплению его с грунтом, т.е. все надежнее гарантирует эффективность торможения, вплоть до реального риска перехода его силы через критическое значение; если же тормоз действует на заднее колесо, то тот же момент ухудшает условия его сцепления с грунтом, ведет к скольжению (так называемому «юз»), но зато автоматически страхует от капотажа.

Источник возникновения рассмотренной выше стартовой силы велосипеда — мышечная деятельность его седока — ничем принципиальным не отличается от таковой на протяжении плато равномерной езды, будучи лишь более интенсивной; как будет в общем виде указано дальше, она абсолютно тождественна во всех фазах с биодинамикой равномерного подъема в гору. Поэтому мы не будем задерживаться на ее разборе, выходящем из плана настоящей статьи.

Шарнирно-стержневые системы без продольных связей, к числу которых принадлежат в биомеханическом плане передвигающиеся посредством опорных ног (не пресмыкающиеся) животные и человек, не отличаются в самых существенных чертах своей стартовой динамики от рассмотренных выше самоходных тележек, что и оправдывает сделанный нами краткий анализ старта последних. При этом свобода от продольных связей приводит лишь к значительно большему разнообразию как кинематики стартовых движений, доступных шарнирно-стержневым системам, так и их динамики.

У человека, стоящего неподвижно на разведенных взад и вперед ногах (рис. 3), сила веса P , направленная из ОЦТ отвесно вниз, разлагается на две силы опорного давления P_a и P_p , направленные вдоль наклонных прямых, соединяющих ОЦТ с точками опоры (или центрами давлений опорных площадок) a и p . Если бы где-либо между обеими стопами имелась продольная связь («стреноженные ноги»), то в ней взаимно погасились бы обе равные и противоположные продольные слагающие сил опорного давления S_a и S_p , и на поверхность опоры передались бы только их вертикальные

слагающие — V_a и V_p , — как и было в случае разбивавшихся выше систем первого класса. При отсутствии такой связи эти равные и противоположные продольные слагающие S_a и S_p передаются на грунт и в случае прочного сцепления подошв с грунтом погашаются в последнем. Если человек окажется стоящим в той позе рис. 3 на идеально скользком льду, эти же силы S_a и S_p обусловят разъезжание стоп друг от друга. Каждому конькобежцу знакомо по воспоминаниям как само это явление разъезжания стоп, так и значительная сила моментного напряжения в мышцах тазобедренной области, сводящих бедра, необходимая для преодоления этого разъезжания. Полное отсутствие каких бы то ни было ощущений подобного, хотя бы и слабого, напряжения при стоянии на обычном шероховатом грунте является хорошим субъективным подтверждением того, что при таком

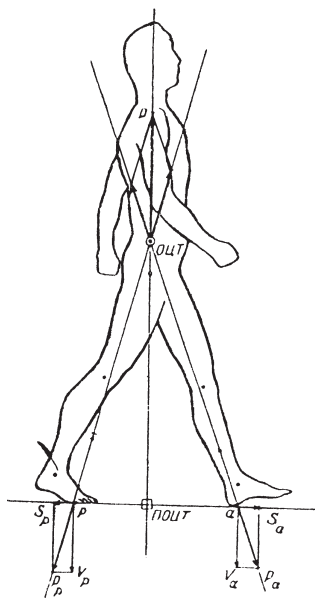


Рис. 3. Статика стойки на разведенных назад и вперед ногах. P_a и P_p — статические давления на опору; V_a , V_p — их вертикальные; S_a , S_p — продольные слагающие; последние равны и взаимно противоположны. P — эффект опорных реакций (вертикальный статический подпор) в ОЦТ

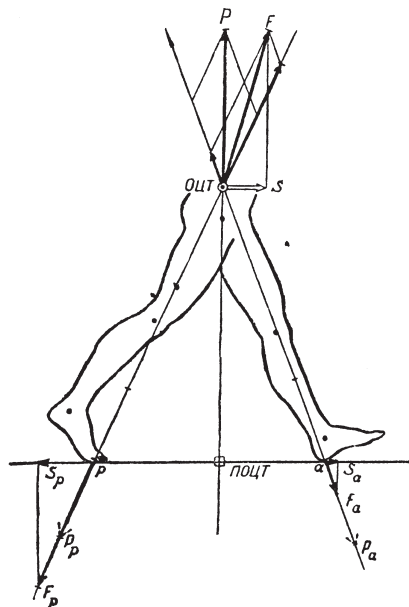


Рис. 4. Образование горизонтальной стартовой силы в ОЦТ. P_a , P_p — статические давления на опору; F_a , F_p — динамические (перераспределенные) давления; S_a , S_p — их продольные слагающие, уже не равные между собой, как было в статике (рис. 3); F — равнодействующая (геометрическая сумма) опорных реакций от сил F_a , F_p ; она разлагается на: 1) статический подпор ОЦТ P , равный весу, и 2) горизонтальную стартовую силу в ОЦТ — S

стоянии действительно отсутствуют не только продольные связи в прямом смысле, но и возмещающие их силовые моменты у тазобедренной оси. Не возникают они и при стартовом ускорении, как будет показано дальше.

Принцип создания в ОЦТ человека горизонтально направленной стартовой силы S (рис. 4) совершенно совпадает с тем, который характеризует и системы первого класса, и сводится здесь полностью к перераспределению давлений (нагрузок) между задней и передней точками опоры, a и p .

Как видно из рис. 3 и 4, чтобы получить отличную от нуля продольно направленную опорную реакцию S , нужно сделать продольные слагающие реакций обеих опор, — при статике равных между собой, — неравными, так, чтобы одна из них возымела перевес над другой. Очевидно, что если мы увеличим заднюю силу давления F_p и уменьшим переднюю F_a так, чтобы сумма их вертикальных слагающих не изменилась, то при этом продольная слагающая задней силы давления, направленная назад, возрастет, а слагающая передней силы, направленная вперед, уменьшится. Их алгебраическая сумма (т.е. их разность по абсолютной величине), будучи направлена назад, и вызовет требуемую горизонтальную опорную реакцию S , направленную вперед.

Такая же точно сила S окажется приложенной и к ОЦТ. Действительно, как показывает рис. 4, реакции на измененные вышеуказанным образом (динамические) опорные силы F_p и F_a , передавшись по прямым направлениям в ОЦТ, образуют в нем их геометрическую сумму F . Эта наклонно направленная сила разлагается на: а) вертикальный подпор P , уравновешивающий, как и при стоянии, статический вес, и на б) горизонтальную стартовую силу S .

Этот анализ, исчерпывающий в основном всю динамику ОЦТ человека при горизонтальном старте, показывает точно, что никакого участия в этой динамике ни сила веса, ни работа опускания ОЦТ не принимают. Тяжесть нужна для старта ходьбы человека и участвует в нем не в большей мере, чем в случае тележечных систем: как тут, так и там она обеспечивает прижатие системы к опорной поверхности, силу сцепления движителей с грунтом, ту возможность перегруппировки опорных давлений, которая во всех случаях необходима для наземного сухопутного старта, и т.д. Сама же стартовая сила в ОЦТ S целиком образуется за счет активной динамики ног по изложенной выше схеме. Распределение ролей между мышцами ног при старте будет рассмотрено дальше.

Если (рис. 5) производить в возрастающей мере перегруппировку опорных давлений, сохраняя сумму их вертикальных слагающих постоянной и равной P , то, очевидно, стартовая сила S в ОЦТ будет также воз-

растать, все время оставаясь горизонтальной. Понятно, что наибольшего значения, возможного для нее при данной позе, горизонтальная стартовая сила S достигнет в случае полного снятия нагрузки с передней точки опоры и передачи всей совокупности динамического взаимодействия с опорой на заднюю ногу.

Отсутствие продольных связей и обусловленное им безмоментное взаимодействие между ОЦТ и точкой опоры приводят у рассматриваемого класса систем к отсутствию у них критического значения стартовой силы и к невозможности стартового опрокидывания. Как это следует из рис. 6, при любых значениях задней динамической силы F_p наибольшие по величине стартовые силы в ОЦТ, S , получаются в случае полной разгрузки передней точки опоры a . Векторы стартовой силы, S , получающиеся при $F_a=0$ и различных возрастающих значениях задней динамической силы F_p , изображены на рис. 6 в виде веера. Пока вертикальная слагающая силы F_p меньше статического веса P – стартовая сила S направлена вперед-вниз; когда эта слагающая сравнивается с P , сила S становится горизонтальной. При дальнейшем возрастании силы заднего толчка F_p вектор S также все увеличивается и все более обращается кверху. Теоретически говоря, для его возрастания нет других пределов, кроме границ доступной для мускулатуры ног сократительной силы; как легко понять по рис. 6, большие направленные вверх-вперед векторы S соответствуют уже стартовым усилиям при прыжке в высоту или в длину с места (отсутствие динамических запросов к передней ноге при $F_a=0$ позволяет в этом случае приставить ее к задней и использовать в параллель с ней).

Мышечная структура усилий, необходимых для стартового перераспределения нагрузок и выполнения работы динамического стартового толчка при ходьбе, вытекает из рис. 7. В силу закона о равенстве действия и противодействия, справедливого как для линейных, так и для моментных сил, моменты, развиваемые мышцами того или другого сустава, всегда равны и противоположны моментам силовых нагрузок по отношению к центру данного сустава. Поэтому, если нам известны: а) величины и линии действия равнодействующих сил, б) поза преодолевающей их конечности и в) возможные в данных условиях (виртуальные) смещения ее точек, то мы всегда можем точно определить значения равнодействующих мышечных моментов для каждого из суставов конечности. Из схемы рис. 7 видно, что при старте ходьбы толчком задней динамической силы F_p , т.е. активное отталкивание ОЦТ от задней точки опоры p , нагружает работой разгибатели колена и подошвенные сгибатели голеностопного сустава (при подогнутой ноге, в начале толчка, сильнее нагружен коленный сустав, по мере распрямления ноги возрастает роль голеностопного). Незначительно загружается и передняя тазобедренная мускулатура толчковой ноги. Ак-

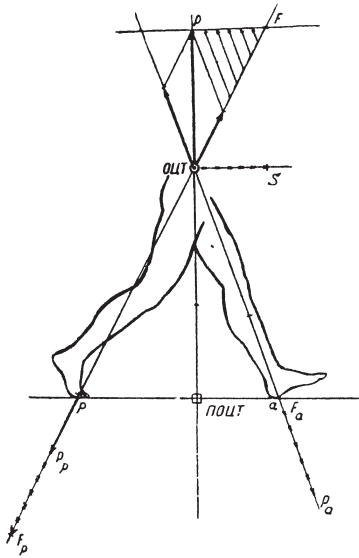


Рис. 5. Получение нарастающей горизонтальной стартовой силы S в ОЦТ путем постепенного перегруппирования давлений на переднюю и заднюю опоры. P – статические, F – динамические силы, S – наибольшая возможная при данной позе горизонтальная стартовая сила, получающаяся при полной разгрузке передней опоры

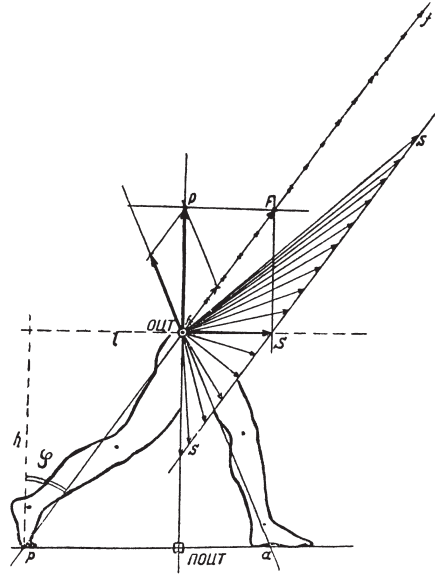


Рис. 6. Семейство возможных значений стартовой силы в ОЦТ – S , при полной разгрузке передней опоры и при всевозможных возрастающих значениях задней толковой силы, F ; f – векторы толковой опорной реакции, S – соответствующие им векторы стартовой силы

тивность передней ноги сводится к уменьшению статического опорного давления P_a до величины F_a , т.е. к снижению напряжения разгибателя и допущению его подкашивания.

Из проанализированного уже рис. 6 вытекает, что в случае наибольшей горизонтальной стартовой силы S_h , при $F_a=0$, имеет место подобие треугольников «ОЦТ – F – S » и « p – ОЦТ – ПОЦТ». Если, как и в случае велосипеда, обозначить высоту ОЦТ над опорой через h , расстояние от ПОЦТ до задней точки опоры через l и угол « p – ОЦТ – F » через φ , то получится

$$S_h = P \cdot \frac{1}{h} = P \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3).$$

Хотя в шарнирно-стержневой системе человека условия, лимитирующие горизонтальную стартовую силу S_h , иные, чем у самоходных тележек, и связаны не с критическим значением момента, а с невозможностью из-

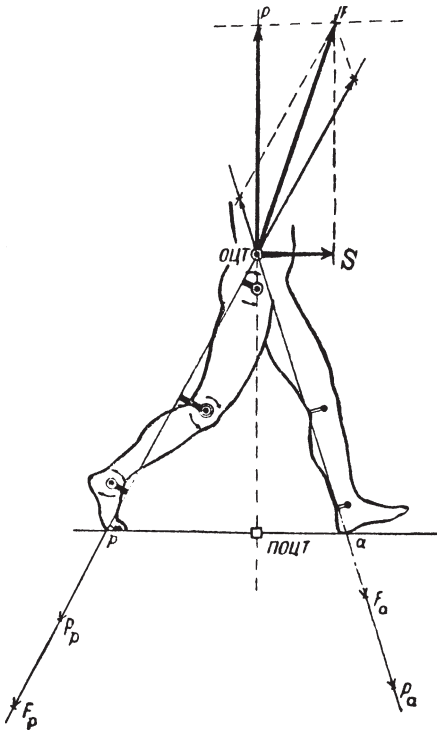


Рис. 7. Моментные нагрузки на суставы ног при горизонтальной стартовой силе S . Жирные черты, соединяющие линии действия толчковых сил по перпендикуляру с центрами суставов, характеризуют моментные плечи этих сил; стрелочки вокруг центров суставов задней (толчковой) ноги показывают направления активного движения в этих суставах, противодействующего внешней нагрузке. (Буквенные обозначения те же, что и на рис. 4-6)

менить знак передней динамической силы F_a на обратный, но выражение для верхнего предела горизонтальной стартовой силы, S_h , получается точно такое же, как и в случае тележек.

Если разделить обе части равенства, определяющего величину S_h , на массу стартующего, m , чтобы перейти к ускорениям, то для верхнего предела горизонтального стартового ускорения ОЦТ, a_h , получим:

$$a_h = g - \frac{1}{h} \quad (4).$$

(g , как и выше, — ускорение силы тяжести).

Как видно из обоих равенств, максимумы (горизонтальных) стартовой силы и стартового ускорения зависят от позы, возрастая вместе с абсциссой ПОЦТ, l , и убывая с возрастанием высоты ОЦТ, h .

Понятно, что стартовая сила, начав смещение ОЦТ в направлении своего действия, до окончания толчка непрерывно увеличивает этим величину l , т.е. создает условия для своего собственного нарастания — ла-

винообразный процесс, количественно очень сходный с явлениями при нарушении неустойчивого равновесия, хотя и имеющий существенно другую природу.

Как это видно из рис. 5 и 6, стартующий человек может по произволу варьировать вектор стартовой силы S как по величине, так и по направлению, не имея только возможности вывести его вправо за пределы линии, соединяющей концы стрелок на рис. 6. Чтобы получить, однако, какую-то количественную ориентировку в том, насколько быстро набирается скорость ходьбы при разных исходных позах, какие для этого требуются пути, проходимые ОЦТ под действием стартовой силы, и т.д., рассмотрим частный случай, когда стартующий на всем протяжении первого толчка выдерживает стартовую силу горизонтальной и наибольшей возможной. Это делает задачу определенной и позволяет найти интеграл зависимости между путем ОЦТ, его ускорениями и скоростями. Обозначая исходное значение l , соответствующее нулевой скорости ОЦТ, через l_0 , имеем:

$$\text{путь ОЦТ } l = l_0 \cdot \cosh \left(\sqrt{\frac{g}{h}} \cdot t \right)^2$$

$$\text{скорость } v = l_0 \cdot \sqrt{\frac{g}{h}} \cdot \sinh \left(\sqrt{\frac{g}{h}} \cdot t \right) = \sqrt{\frac{g}{h}} (l^2 - l_0^2)$$

$$\text{ускорение } a = l_0 \cdot \frac{g}{h} \cdot \cosh \left(\sqrt{\frac{g}{h}} \cdot t \right) = \frac{g}{h} \cdot l$$

В табл. 1 помещены значения скоростей, приобретаемых ОЦТ при горизонтальном перемещении по вышеприведенным формулам для исходных значений l_0 от 5 до 30 см.

Из таблицы, а также иллюстрирующего ее данные рис. 8 видно, что к каждому данному пункту l движения общего центра тяжести накапливается тем большая скорость, чем раньше был начат стартовый толчок, т.е. с чем меньшего исходного значения l_0 он начался. Это противоречит общепринятому представлению, что большие исходные значения l_0 выгоднее, поскольку они позволяют развить более значительную стартовую силу.

Очевидно, что суть дела не только в силе, но и в пути, на протяжении которого она может действовать. Хотя малым значениям l соответствуют и небольшие стартовые силы, но их эффект, суммируясь и накапливаясь в виде кинетической энергии движения ОЦТ, отнюдь не пропадает даром.

Скорость 150 см/сек, соответствующая средней скорости ходьбы (5,4 км/час), может быть достигнута при $l_0=30$ см после 24,5 см пути ОЦТ, через

* Cosh и sinh – гиперболический косинус и соответственно синус.

Таблица 1

t с	l ₀ =5 см			l ₀ =10 см			l ₀ =20 см			l ₀ =30 см		
	l см	v см/с	Δ d, см	l	v	Δ d	l	v	Δ d	l	v	Δ d
0	5,0	0	0	10,0	0	0	20,0	0	0	30,0	0	0
0,05	5,1	2,7	0,00	10,1	5,5	0,01	20,3	10,9	0,08	30,4	16,4	0,16
0,10	5,3	5,5	0,01	10,5	11,1	0,05	21,1	22,2	0,27	31,6	33,3	0,56
0,15	5,6	8,5	0,03	11,2	17,0	0,14	22,5	34,0	0,60	33,7	51,1	1,26
0,20	6,1	11,7	0,07	12,3	23,4	0,28	24,5	46,8	1,11	36,8	70,2	2,38
0,25	6,8	15,2	0,12	13,6	30,4	0,47	27,2	60,9	1,84	40,8	91,3	4,00
0,30	7,7	19,1	0,19	15,3	38,3	0,73	30,6	76,6	2,88	45,9	114,9	6,22
0,35	8,7	23,6	0,29	17,4	47,2	1,11	34,8	94,4	4,34	52,2	141,6	9,27
0,40	10,0	28,7	0,42	20,1	57,4	1,64	40,1	114,9	6,37	60,2	172,3	13,43
0,45	11,6	34,6	0,60	23,2	69,2	2,36	46,5	138,5	9,12	69,7	207,7	19,03
0,50	13,5	41,4	0,86	27,0	82,9	3,36	54,0	165,8	12,77	—	—	—
0,55	15,8	49,4	1,22	31,5	98,8	4,76	63,1	197,6	17,72	—	—	—
0,60	18,5	58,7	1,73	37,0	117,4	6,68	—	—	—	—	—	—
0,65	21,7	69,6	2,46	43,3	139,2	9,31	—	—	—	—	—	—
0,70	25,5	82,8	3,41	50,9	165,6	12,86	—	—	—	—	—	—
0,75	29,9	97,6	4,71	59,9	195,2	17,55	—	—	—	—	—	—
0,80	35,2	115,2	6,51	70,5	230,4	23,70	—	—	—	—	—	—
0,85	41,5	136,1	8,96	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,90	48,9	160,7	12,87	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,95	57,6	189,5	16,76	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,00	67,9	223,7	22,71	—	—	—	—	—	—	—	—	—

0,37 сек. от начала движения; даже при таком низком значении l₀, как 5 см, эта же скорость достигается уже после 40 см движения, через 2/7 секунды.

Этот последний результат подводит нас вплотную к вопросу о старте ходьбы с сомкнутых стоп, изучавшемся С. Страшкевичем (рис. 9).

Как видно из вышеприведенных данных, даже при отстоянии ПОЦТ всего на 5 см впереди от задней точки опоры (каблука или пяточного бугра) средняя скорость обычной ходьбы может быть уже достигнута с одного толчка. Обычное представление, что при стартах этого рода сперва ПОЦТ приводится мышечным усилием как можно ближе к переднему краю опоры, неправильно потому, что само это активное перемещение ПОЦТ впереди по существу есть уже старт, и, доведя ПОЦТ до указанного пункта, стартовующий не прекращает и не приостанавливает стартового усилия, продолжая и дальше накапливать требующуюся ему скорость.

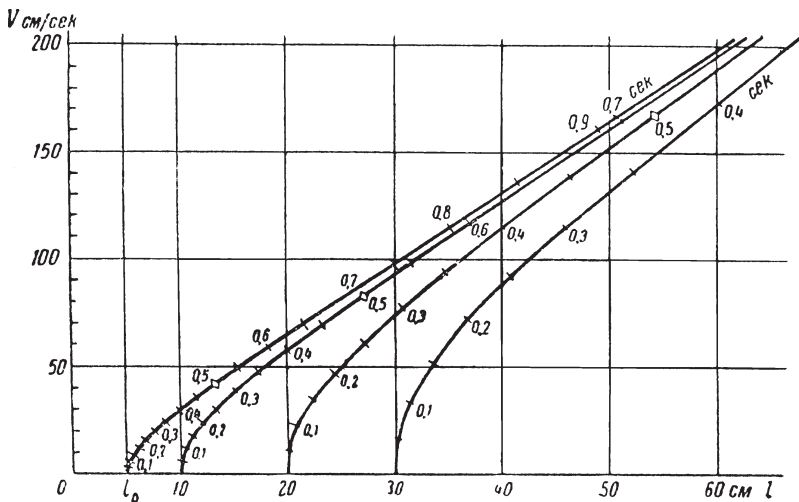


Рис. 8. Кривые нарастания скоростей горизонтального движения ОЦТ при старте ходьбы в случае наибольшей горизонтальной стартовой силы S , при различных начальных опережениях ПОЦТ ($l_0=5, 10, 20$ и 30 см)

Источником энергии при стартах этого рода в начальных фазах является сокращение мышц-разгибателей колена, как это и видно по моментному плечу толчковой силы на рис. 9.

Дальше же, с выходом ПОЦТ вперед от переднего края стоп, в работу включается подошвенное сгибание стоп, как при всех типичных стартовых толчках.

Для дальнейшего уяснения вопроса об источниках механической работы стартового толчка и о границах пути l общего центра тяжести, для которых стартующий может найти достаточные ресурсы в виде активного удлинения шага, в таблице 1 приведены еще столбики Δd , показывающие, насколько увеличивается при каждом l расстояние от ОЦТ по прямой линии до точки

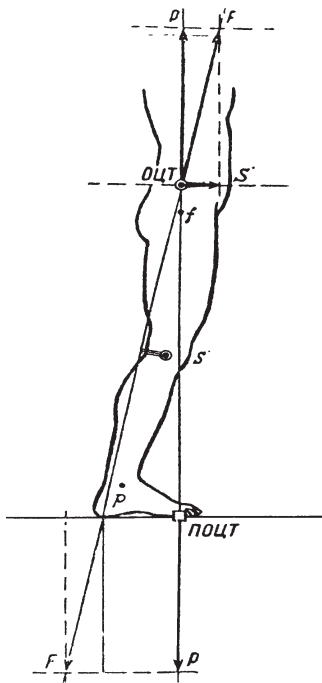


Рис. 9. Получение горизонтальной стартовой силы при старте ходьбы с сомкнутых стоп. (Обозначения те же, что и на рис. 4-7)

опоры. Изменения Δd этого расстояния, начиная от его исходного значения при данном l_0 , до того или другого пункта пути l очень близки по величине с изменениями длины толчковой ноги, совершающимися при ее постепенном активном выпрямлении на протяжении стартового толчка.

В существенном отличии от стартов ходьбы, где, как было показано, скорость плато достижима при всех условиях с одного толчка, — старт бега, в особенности скоростного, неминуемо требует ряда последовательных опорных толчков, постепенно доводящих скорость ОЦТ до требуемого высокого значения.

Условливаемся для дальнейшего называть отрезок бега от самого начала движения до окончания первого толчка, т.е. до отрыва первой толчковой ноги от опоры, стартом, а весь последующий период ускоряющегося движения от указанного мгновения до достижения плато — разбегом.

Как подтвердили наши исследования, старт и разбег представляют собой при скоростном беге одно неразрываемое целое, почему и анализировать их возможно не иначе, как совместно. Поэтому, относя подробный разбор их энергетики и биодинамики ко второму сообщению, мы остановимся здесь вкратце лишь на двух пунктах этого разбора, непосредственно примыкающих к обсуждаемой здесь теме и требующих упоминания для большей полноты изложения.

Как и весь скоростной пробег стометровой дистанции в целом, так, в частности, и его разбег предъявляет необычайно высокие требования к развиваемой спортсменом мощности. Эта мощность, достигающая во время разбега поразительной величины ~ 300 кг/м в секунду, т.е. около четырех лошадиных сил, не снижается сколько-нибудь заметно и на протяжении последующего плато, расходуясь там полностью на покрытие всех видов сопротивлений движению. Поскольку эти сопротивления растут по наименьшей мере пропорционально квадрату скорости бега, постольку в начале разбега, при небольшой скорости, у бегущего есть еще в распоряжении порядочные резервы мощности, которую он может расходовать на наращивание своей кинетической энергии; но с ростом скорости все более бурно растет ее себестоимость, на ее дальнейшее увеличение остаются все меньшие доли от максимальной посильной бегуну мощности, и поэтому каждый следующий сантиметр в секунду достается ему все труднее и труднее. Коэффициент полезного действия (кпд) мощности разбега, сколько-нибудь значительный только на первых 2-3 м его, дальше катастрофически падает, асимптотически стремясь к нулю и на втором десятке метров почти достигая его.

Понятно поэтому, какое значение приобретают для спринтера эти первые метры и даже доли метра его разбега, где он еще может опираться на неопавший кпд. Максимальная рационализация стартовой позы и первой пары динамических толчков, мобилизация всех средств и возможностей к тому, чтобы «выжать» из этой первой пары метров как можно большее количество движения, имеют исключительную важность для конечного результата бега.

После всего сказанного о максимальной горизонтальной стартовой силе S_h и ее зависимости от параметров позы l_0 и h (формула (3)), побуждения, заставляющие спринтеров прибегать к так называемому низкому старту (рис. 10), понятны: поза низкого старта почти вдвое уменьшает h в знаменателе дроби (3) (при среднем росте — на 40-45 см из 90-95) и, следовательно, в такой же мере увеличивает максимальную горизонтальную стартовую силу S_h . На рис. 10 расположение ОЦТ при выпрямленном стоянии и соответствующая ему по формуле (3) наибольшая горизонтальная стартовая сила обозначены буквами O' и S' , положение же ОЦТ и соответственно возросшая горизонтальная стартовая сила при данной позе низкого старта — буквами ОЦТ и S_h . Однако это увеличение стартовой силы от S' до S_h — не только не все, но даже не главный динамический эффект, достигаемый благодаря низкому старту, что далеко не является общеизвестным. При анализе рис. 6 уже было показано, что при одноопорном толчке вектор стартовой силы в ОЦТ имеет возможность, вообще говоря, расти неограниченно, с единственной оговоркой: его возрастание по величине неизбежно связано с поворотом его из горизонтального направления в наклонное (вверх-вперед), стремящееся по мере возрастания вектора S к совпадению с направлением линии действия толчковой реакции, «р — ОЦТ». Главная польза, приносимая низкой стартовой позой, заключается в том, что делает наклонное вверх направление толкания и смещения ОЦТ и возможным, и целесообразным. Ни бежать, ни разбегаться в позе приседания невозможно, и бегуну необходимо как можно скорее вслед за стартом распрямиться вновь. А требующееся для этого направление толкания ОЦТ стартовой силой (рис. 10, вектор S) соответствует, по принципу «веера» рис. 6, величине этой силы, в несколько раз превышающей величину веса стартового. По нашим наблюдениям, начальное наклонное стартовое ускорение достигает и даже превышает при спринтерском старте величину $4g$ — четырехкратное значение ускорения силы тяжести. Из рис. 10 видно, что даже одна только горизонтальная слагающая H этой наклонной силы S , непосредственно содействующая накоплению продольной скорости ОЦТ, в три с лишком раза превышает при данной позе наибольшую чисто-горизонтальную силу S_h , возможную при этой же позе. Таким образом,

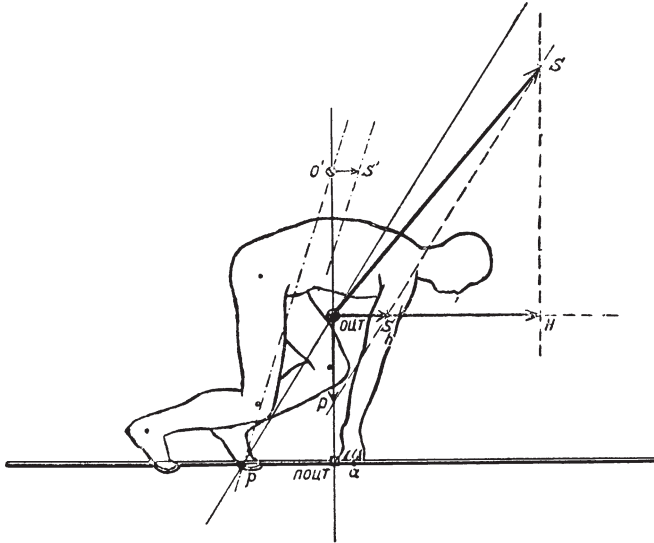


Рис. 10. Схема динамических усилий при низком старте. S' — наибольшая возможная горизонтальная стартовая сила при данном значении l_0 и нахождении ОЦТ на нормальной высоте стояния; S_h — наибольшая возможная горизонтальная стартовая сила при изображенной позе и низком расположении ОЦТ; S — фактическая стартовая сила, развиваемая бегуном в начальное мгновение старта в связи с необходимостью поднять ОЦТ на прежнюю высоту.
 H — горизонтальная слагающая стартовой силы S

выигрыш в силе стартового отталкивания, достигаемый благодаря низкому старту, создается, так сказать, двухступенным порядком, доходя даже по одной лишь продольной слагающей до 6-7-кратного увеличения; и при этом вторая ступень усиления оказывается гораздо более значительной, чем первая.

Второе обстоятельство, заслуживающее освещения в настоящем анализе, связано непосредственным образом все с тем же недоразумением относительно необходимого якобы участия работы силы тяжести в создании стартового ускорения, которое было вскрыто уже в начале этой статьи. Представление о старте ходьбы или бега, как о начинающемся падении (наподобие падения палки, колонны и т.п.), связано, по-видимому, с верным наблюдением того факта, что при стартовом ускорении ПОЦТ часто выходит вперед за пределы площади опоры. Привычный к статическим анализам образ мыслей воспринимает это явление как обязательное нарушение равновесия, в статике действительно неизбежно приводящее к падению, а вследствие этого трактует и все последовавшее движение как

начавшееся падение. При этом упускается из виду, что дело касается живой, самодвижущейся системы, и что при условиях, создающих возможность для активного динамического толчка, выполняющего механическую работу, здесь возникает и соблюдается настоящее равновесие; только равновесие это — динамическое.

В условиях статики единственная сила в ОЦТ, требующая преодоления или подпора, — это сила тяжести, и естественно, что для равновесия линия ее действия необходимо должна проходить через площадь опоры, где она только и может встретить равное и противоположное себе противодействие. В динамике, в тех случаях, когда ОЦТ испытывает то или иное ускорение, в преодолении нуждаются уже две силы, исходящие из ОЦТ, — сила тяжести и сила инерции, имеющая направление, обратное ускорению, и пропорциональная ему по величине. В этих случаях условия (динамического) равновесия требуют, чтобы через площадь или точку опоры проходила линия действия равнодействующей обеих этих сил. А при этом осложненном условии преодоление совместного действия тяжести с инерцией, обуславливаемой динамическим толчком, может обеспечить совершенно полноценное равновесие в динамическом смысле при любых расположениях ПОЦТ: выше это было показано на примерах стартовых движений ОЦТ и по горизонтали, и наклонно вверх, и вообще по любым желаемым направлениям.

Поскольку единственным условием для возникновения силы инерции является наличие в ОЦТ ускорения, независимо от того, будет ли оно переменным, постоянным или пульсирующим, удобным примером для иллюстрации явления динамического равновесия тела при нахождении ПОЦТ вне пределов площади опоры может служить фаза так называемого добавочного толчка h' (рис. 11), имеющая место в каждом шаге пятки передней ноги на опору, в момент наибольшего выпрямления этой ноги в колене. Вся площадь опоры идущего ограничивается в это мгновение носком задней ноги, в которой 0,08–0,12 сек спустя, уже после наступания передней ноги, разовьется главный динамический толчок ходьбы — задний толчок h . В описываемой фазе h' единственная опорная нога, отнесенная назад, дает активный толчок носком в направлении наклонной прямой «ОЦТ-р».

Общий центр тяжести движется в указанной фазе по кривой, загибающейся вверх и изображенной на рис. 11 криволинейной стрелкой, т.е. характер его движения не имеет ничего общего с падением. Ускорение ОЦТ, создаваемое в этой фазе толчком h и помеченное на рисунке стрелкой S , вызывает в ОЦТ такую силу инерции R , что она, в геометрической сумме с силой тяжести P , дает усилие, как раз направленное вдоль линии динамического толчка, в точку опоры p . Совершенно аналогичный этому случай динамического равновесия при местонахождении ПОЦТ вне точки опоры — это случай палки, динамически

балансируемой в наклонном положении на конце пальца и изображенной на том же рис. 11 справа. Если палец сообщает центру тяжести палки ускорение по направлению S , то равнодействующая сил тяжести P и инерции R и здесь проходит через точку опоры палки о палец, обеспечивая палке динамическое равновесие.

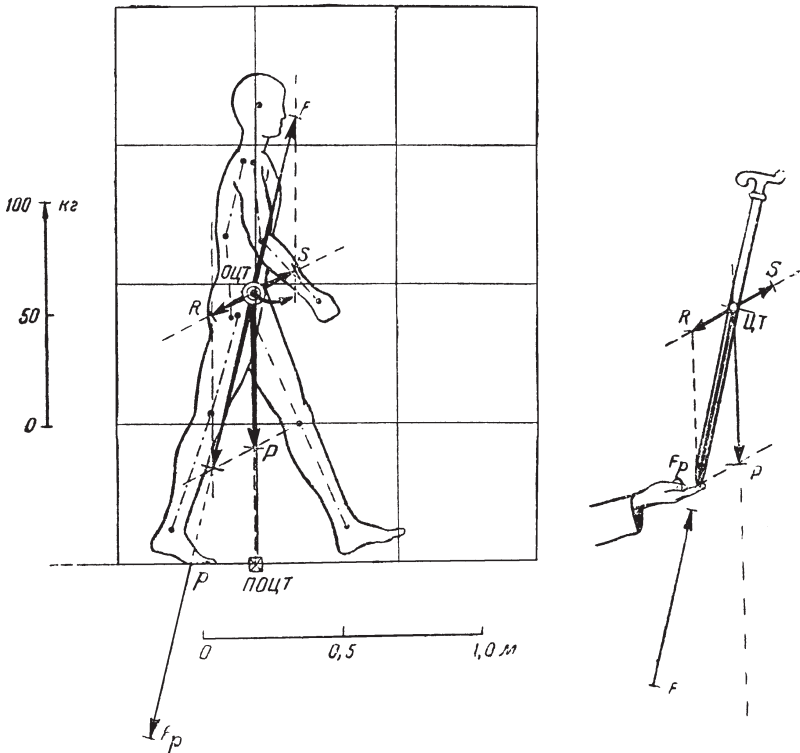


Рис. 11. Динамика фазы ходьбы, соответствующей добавочному заднему толчку h' , как случай динамического равновесия при нахождении ПОЦТ вне пределов площади опоры. P — сила тяжести, R — сила инерции в ОЦТ, F_p и F — соответственно сила толчкового давления и сила опорной реакции в ОЦТ. Равновесие обуславливается тем, что направление равнодействующей сил тяжести и инерции проходит через точку опоры p . Справа для пояснения — динамическое удерживание в равновесии трости на кончике пальца, с аналогичным расположением силовых векторов

¹ Рисунок бегуна на вираже, с динамическим анализом усилий в точке опоры и ОЦТ, помещен в моей работе «К вопросу о расчете беговых дорожек» в этом журнале, 1946, вып. 10, стр. 473, рис. 3.

Наконец, то же самое явление динамического равновесия при выходе ПОЦТ за пределы площади опоры — только на этот раз во фронтальной плоскости тела — имеет место при беге по виражам, вызывающем общеизвестный феномен уклона всего тела внутрь кривой¹.

В этом примере сила инерции проявляет себя в виде центробежной силы; линия действия ее геометрической суммы с силой тяжести и здесь проходит в точности через точку опоры.

Многочисленность примеров рассмотренного явления динамического равновесия, существующего несмотря на выходы ПОЦТ из границ площади опоры, делает эти случаи заслуживающими обобщения. Такое обобщение становится возможным благодаря совершенно всеобщему физико-механическому принципу, согласно которому сила инерции неотличима по своим проявлениям от силы тяжести или силы веса ни с каких точек зрения, ни механических, ни любых общефизических. Этот давно известный факт, возведенный Эйнштейном в ранг всеобщего и фундамен-

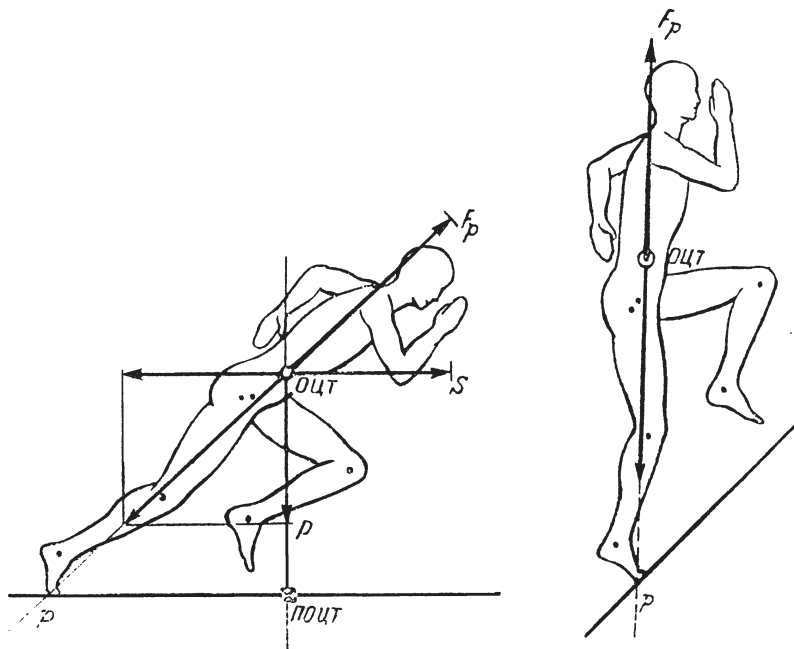


Рис. 12. Слева — одна из фаз начала спринтерского разбега; справа — та же поза, отнесенная к «горке», соответствующей наличному ускорению ОЦТ при данной фазе. Детали — в тексте.

тального закона природы, делает силы тяжести и силы инерции всегда и безоговорочно допускающими как геометрическое суммирование их друг с другом, так и взаимную их замену без нарушения чего бы то ни было в мгновенной картине протекания явлений.

По этому принципу, в частности, там, где это представляется удобным в целях ясности и наглядности, всегда можно трактовать вектор-сумму сил тяжести и инерции в материальной точке как единый и беспримесный вектор силы тяжести.

Если мысленно заменить геометрическую сумму сил тяжести и инерции в ОЦТ (например, у разбегающегося спринтера) единым вектором силы тяжести, совпадающим с нею по величине и направлению, то этому вектору, конечно, следует придать на чертеже отвесное направление, в связи с чем, разумеется, нужно повернуть на соответствующий угол и все остальные элементы чертежа. Тогда горизонтальная поверхность опоры обратится в «горку», а ускоряющееся разбегание по горизонтали заменится для каждого данного мгновения вбеганием на эту «горку» со скоростью, имевшей место в это мгновение, но уже без ускорения.

Такое именно преобразование проведено на рис. 12 по отношению ко второму – третьему после старта шагу спринтера. Величина горизонтального ускорения ОЦТ в данной фазе разбега и определяемый этой величиной наклон «горки» слегка преувеличены, чтобы сделать изображаемое явление возможно более наглядным. Сопоставление обеих фигурок рис. 12 как нельзя лучше объясняет и резкий наклон корпуса вперед, свойственный началу разбега, и так называемый «ударный» тип или стиль движения ног, всегда применяемый в этих фазах спринта. Взгляд на человека, пытающегося взбегать со скоростью $2\frac{1}{2} - 3$ м/сек на крутой откос, сразу показывает, что широкий «маховый» выброс голени и стопы переносной ноги вперед, свойственный бегу на плато, здесь был бы совершенно невозможен, и что в разбираемых фазах отвечает цели только прием, средний между полубегом и карабканьем, с резкими, короткими ударами в грунт «откоса» по «отвесному» направлению. Объясняется им и то, что шаги в этой части разбега неминуемо коротки, а полетные интервалы отсутствуют. Наконец, в этой интерпретации разбега, как вбегания на «горку», становятся совершенно понятными и стартовые ямки, выкапываемые себе каждым бегуном у начального пункта дистанции; перенесенные на откос правой части рис. 12, они обращаются в ступеньки, которые человек, намеренный подняться на него, вырубает себе, чтобы обеспечить себя от неизбежного иначе соскальзывания.

Как это следует из всего изложенного, проблема сообщения своему телу начальной продольной скорости при локомоциях оказывается в одно и то же время и простой, и неисчерпаемо сложной. Решение биодина-

мической задачи локомоторного старта мобилизует в организме многочисленные, тесно сплетенные одни с другими, функциональные системы и механизмы. Разобраться во всем этом многообразии функциональных отношений — дело будущих физиологических и биодинамических изысканий, для которых настоящая работа принесет известную пользу.

Др Ник. БЕРНШТЕЙН

Статьи по кибернетике

ИСТОРИЧЕСКИЕ ИСТОКИ КИБЕРНЕТИКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЕЕ В МЕДИЦИНЕ

История естествознания и техники богата примерами того, как изменения, наступавшие в состоянии производительных сил и производственных отношений, приводили к изменениям основных точек зрения, отправных пунктов, которыми начинала направляться исследовательская мысль и изобретательская работа. Ярким примером такого сдвига исходных научных и технических позиций может послужить переворот, ознаменованный вступлением в строй в конце XVIII века паровой машины и характеризовавшийся в физике и технике расцветом энергетики, бурно развивавшейся на протяжении всего XIX века, а в физиологии — заменой механического направления, господствовавшего в XVIII веке (развитие декартовых идей о рефлексе, биомеханика Борелли, разработка механики кровообращения Кене, «Человек—машина» Ламетри и др.), концентрацией внимания на биоэнергетике: на изучении обмена веществ, развитии биологической химии, работах по теории пищеварения, дыхания, вегетативных функций внутренних органов и т. д. Такая смена отправных пунктов вела к перегруппировке взаимоотношений между отдельными научными дисциплинами и к появлению новых, не предвидевшихся дотоле, сближений между ними, как показывает приведенный уже пример срастания химии и биологии в новую науку — биохимию, немислимую для предшествовавшего столетия.

Весь XIX век прошел под знаменем энергетики, находившей в технике все новые и новые ресурсы в виде тепловых двигателей и электроэнергии, сделавшей доступными бесчисленные даровые природные источники «белого», «голубого» и всяких других символических расцветок «угля» и т.д. В физиологии этот период, о главных объектах изучения которого было уже упомянуто, характеризовался двумя очень отчетливо выраженными отправными пунктами или принципами, явно подсказывавшимися самими методиками исследования и уровнем знаний о физиологических процес-

сах: 1) изучением организма в покое, в равновесных состояниях и 2) аналитическим исследованием отдельных элементарных, искусственно изолированных функций.

Первая черта проявилась в выборе тех состояний, в каких преимущественно изучался организм. По линии химизма исследовался обмен покоя («основной метаболизм»), тщательно изучались процессы дыхания, кровообращения, работа сердца, почек и других органов также в состояниях покоя, без рабочих нагрузок организма. Так, например, для изучения нервной и нервно-мышечной физиологии животное или обезглавливали, или децеребрировали перерезкой ствола мозга, или по меньшей мере наркотизировали.

Второй отличительный признак физиологических работ XIX века — аналитическое вычленение и изолированное изучение элементарных функций нерва, мышцы, внутреннего органа, рецептора — казалось вполне естественным методическим приемом для первоначального исследования («синтез придет по окончании анализа»), но в действительности неосознаваемо опиралось на атомизм, органически присущий механистическому образу мышления материалистов XIX века. Твердо подразумевалось, что целое есть всегда сумма всех своих частей и ничего более, что любую сложную функцию всегда возможно реконструировать как сумму определенных микрофункций, последовательных или одновременных. Каждое чувственное восприятие — это сумма элементарных ощущений, а каждая целостная, целесообразная реакция животного организма — такая же сумма элементарных рефлексов и т.д. Такой подход определил все направление психофизиологии органов чувств прошлого века, а в нервной физиологии — центрировал исследовательскую работу на изучении свойств нервно-мышечного препарата или же изолированных, полупассивных ответов покоящегося подопытного животного на задаваемые ему изолированные же раздражения.

Текущий век характеризуется все яснее осознаваемым и формулируемым новым сдвигом отправных позиций и центров интереса, и опять-таки этот сдвиг кладет свой решающий отпечаток и на технику, и на естествознание (в частности, на биологию и физиологию) и приводит к перегруппировкам и сближениям между собой наук, в отношении которых эта возможность часто и не помышлялась раньше. На этом сдвиге следует остановиться более подробно.

По мере прогрессирующего роста производственных мощностей все более осложнялась и требовала все большего внимания задача управления этими громадными мощностями. С одной стороны, человеческой мышечной силы зачастую становилось уже недостаточно для такого управления: ее

заменяли либо пассивными искусственными направляющими (например, рельсы для управления направлением хода поезда), либо особыми машинами, получившими в наше время наименование сервомоторов, которым перепоручались, например, повороты гигантских многотонных рулей океанских судов. С другой же стороны, становилось в принципе все более ясным, что выработка механической энергии и целесообразное управление этой энергией — это две совершенно отдельные задачи, которые в сложных машинах требуют не только отдельных, специализированных устройств, но нередко и независимых источников энергии для каждой из этих функций, например, электрическое или пневматическое управление работой паровой машины и т.п.

«Всадник» — управление оказалось и более сложной, и более важной проблемой, нежели «конь» — источник рабочей энергии. Необходимость разобраться в этой проблеме еще сильнее подкреплялась нараставшей потребностью в самоуправляющихся (автоматических) устройствах и машинах и увеличением числа изобретенных и удовлетворительно действовавших автоматов. Одни из них обеспечивали устойчивое поддержание какого-то определенного, необходимого режима работы машины; другие, более сложные, могли без вмешательства человека осуществлять смены режимов по той или другой программе, включать и выключать последовательно разные механизмы и орудия и т.д.

Перед наукой об управлении встала проблема регуляции. Как устроены и как должны быть устроены автоматы, регулирующие и поддерживающие устойчивый или программно изменяемый ход работы машины? И здесь обнаружилось, что, во-первых, каждое устройство подобного рода должно иметь какой-то воспринимающий элемент, способный подать сигнал неблагополучия, отклонения режима от требуемого уровня (например, в простейшем из автоматов — термостате — термометр, сигнализирующий о начавшемся отклонении температуры), и, во-вторых, передачу с этого элемента к управляющему регулятору, заставляющую этот регулятор изменять ход или мощность машины (в нашем примере — силу нагрева термостата) как раз в требующемся для выравнивания направлении.

Уже на этом уровне развития технической теории автоматике не могло не броситься в глаза разительное функциональное сходство с жизнедеятельностью организмов, как в отправлениях отдельных элементов автоматной схемы, так и в самом ее построении. Воспринимающий элемент — это точный аналог органа чувств; к тому же стремительное развитие электротехники все более обогащало список датчиков, вырабатывая подобия органов осязания, зрения (фотоэлементы), слуха (микрофоны) и др. Сигнализация с датчика к регулятору аналогична нервному сигналу по афферентному

нерву, реакция же регулятора воспроизводит чисто физиологическое явление рефлекса.

Неожиданное сближение физиологии с техникой на почве вновь возникшей проблематики управления и регуляции оказалось плодотворным и для физиологии, так как технические аналогии помогли ей осветить по-новому ряд процессов внутренней регуляции. В каждом физиологическом отпадении, требующем стабильного поддержания той или иной величины или уровня (например, артериального давления, содержания в крови сахара или двуокиси углерода и т.п.), отчетливо обнаруживался датчик—рецептор (например, каротидный синус и т.п.), нервная передача в центр и эффекторный сигнал оттуда на периферию, обеспечивающий выравнивание начавшегося и просигнализованного отклонения. Общий с регуляторами-автоматами принцип заключается в том, что то или иное действие исполнительного органа, например, сокращение мышц артериальной стенки по импульсу из центра, не является концом процесса: результат совершившегося действия немедленно воспринимается датчиком-рецептором и сообщается им по обратной связи в центр. Если исполнительный орган сработал в смысле регуляции неправильно, недостаточно или же чрезмерно, то сигнал с рецептора по обратной связи немедленно побудит центр соответственно усилить или умерить свою импульсацию, послать корректирующие импульсы и т.д., пока, наконец, сообщения с периферии от рецептора не засвидетельствуют полного выравнивания нарушения. С новым нарушением процесс выравнивания возобновится.

В физиологии все ярче обнаруживается большая универсальность такой кольцевой схемы регуляции с помощью обратной связи. В ряде функций, где для менее углубленного взгляда прежних физиологов реакция организма исчерпывалась, казалось, однократным рефлексом, оборванным на конце незамкнутой рефлекторной дуги, новый более точный и пристальный подход выявляет непрерывающийся (по крайней мере, на протяжении того или иного промежутка времени) кольцевой процесс управления, в котором каждый очередной элемент действия (мышечного сокращения, секреции и т.п.) немедленно контролируется рецептором, выверяется и корректируется из центра новым элементом действия и т.д.

Раз начавшиеся сближение и взаимопомощь биологии и техники не ограничились одними только механизмами регуляции. Аналогии, способные помочь как физиологической теории, так и технической практике, стали выявляться и в ряде других направлений.

Каждый сигнал с датчика-рецептора, для того, чтобы произвести требуемое целенаправленное действие, должен обладать определенным смысловым содержанием, как сейчас говорят, нести в себе какую-то ин-

формацию. В редких случаях эта информация осуществляется в наиболее привычной нам словесной форме (например, передача команды по телефону); гораздо же чаще, — а в автоматике вообще всегда, — она оформляется в виде определенного условного шифра или кода, например, в форме того или иного следования импульсов одного вида в известном ритме (реже — чаще, в одиночку или группами и пр.), двух стандартных видов (например, точки и тире в азбуке Морзе) и др. Если в автомат, например, в управляемый издала самолет, лодку и т.п., вмонтированы рецептор сигналов и дешифратор кодов, то такой автомат сможет выполнять дифференцирование и безошибочно большое число закодированных команд.

Но теперь привлекает внимание следующая аналогия с физиологическими процессами. Ведь по чувствительным нервным проводникам с периферии тела в головной мозг не передаются непосредственно прямым образом: теплота или холод — от кожных рецепторов температурной чувствительности, свет — от палочек и колбочек сетчатки по зрительным нервам и т.п. Нервные импульсации в афферентных волокнах, легко регистрируемые с помощью современной техники, не содержат в себе ничего похожего ни на свет, ни на теплоту, ни на механическую силу натяжения (действующего на проприорецепторы), а лишь определенную последовательность пиков биоэлектрических потенциалов действия, по крайней мере насколько мы можем заключить при сегодняшнем уровне экспериментальной техники. К тому же вследствие взрывного характера электрохимических процессов, лежащих в основе этих пиков, и обуславливаемого им закона «все или ничего», все пики цепочки импульсов одиночного нервного волокна равны по величине, так что разнообразиться и отличаться между собой такие цепочки импульсов могут только по своей частоте и ритму. Между тем ясно, что именно эти цепочки импульсов обеспечивают восприятие всех качеств окружающего мира — и света, и цветов, и звуковых тонов, и всего богатства кожных, обонятельных, вкусовых, кинэстетических ощущений и т.д. Очевидно, что вся эта богатейшая чувственная информация о внешнем мире сообщается нашему мозгу закодированной в виде импульсных цепочек. Каким образом мозг ее расшифровывает (декодирует), есть ли специфическое различие нервных сигналов от зрительного, слухового, осязательных и других рецепторов и в чем это различие состоит — это задачи, которые еще предстоит разрешить физиологии завтрашнего дня.

Так или иначе определялась еще одна важная точка аналогий и сближений между биологией и техникой: проблема передачи информации и информационных кодов. Понятие кода в биологии приходится трактовать и применять очень широко. Помимо нервных импульсов, команды, создавае-

мые, например, химическими стимуляторами и тормозными веществами (медиаторами), тоже несут с собой информацию и тоже в своеобразно закодированном виде.

То же приходится сказать о важнейших, высокодифференцированных регуляторах организма — продуктах желез внутренней секреции. Ядерные хромосомы, химическая структура которых начинает постепенно уясняться в наше время, принимают участие какими-то еще крайне загадочными путями в развитии из одной оплодотворенной яйцевой клетки организма, обладающего сложнейшим агрегатом органов и тканей, подобного организмам предков. По-видимому, в химической структуре тех гигантских белковых цепочечных молекул, из которых построены хромосомы, закодирована информация, необходимая и достаточная для построения всех органов тела, с их тончайшими гистологическими строениями и целесообразной взаимосвязью.

Наконец, разве сама наша речь, наш основной способ взаимного обмена информацией, не представляет собой высокоразвитой системы условных кодов в форме звуков разной высоты и тембра — в случае устной и комбинаций из тридцати двух фигурок — знаков (букв, цифр и др.) — в случае письменной (и печатной) речи?

Чтобы покончить с просмотром хотя бы главнейших из ныне вскрываемых соответствий и аналогий, отметим, что и принцип релейных связей и сервомеханизмов, находящий все более широкое применение в современной технике управления и связи, точно так же оказался играющим важную роль в физиологических отправлениях организма. Когда рулевой океанского судна одной рукой вращает небольшое штурвальное колесо, мощная паровая или электрическая сервомашинка послушно повторяет все его действия, поворачивая тяжелый руль, отстоящий к тому же на пару сотен метров от штурманской рубки. Но когда импульсация с переднероговой клетки спинного мозга, передаваемая в мышцу по двигательному нерву и по своей мощности измеряемая долями микроватта, вызывает тетаническое сокращение мышцы, реализующее ее внутреннюю рабочую мощность в десятки и сотни ватт, то вся картина такой же точно релейной передачи оказывается налицо и здесь.

Для физиологов и медиков не столь важно, какую пользу извлекают для себя из всех подобных параллелей инженеры, утверждающие, однако, что углубленное ознакомление с физиологией очень обогащает их изобретательскую мысль. Но для биологов из таких аналогий и сопоставлений проистекает по крайней мере двоякая польза. Во-первых, все они открывают пути к построению математической теории и формулировки явлений, что всегда прогрессивно и что предрекали будущей физиологии

корифеи отечественной науки И.П. Павлов и А.А. Ухтомский. Такие математически разработанные теории обратной связи, функции передачи, кольцевых процессов и т.д. уже созданы и способствуют переводу биологической дисциплины на рельсы точной науки. Во-вторых, каждая подобная нащупанная аналогия представляет собой путь к созданию проверочной исследовательской модели, к так называемому моделированию физиологических процессов. О разностороннем значении моделирования как для физиологической теории, так и для медицинской практики мы скажем еще несколько слов ниже; подробно же и обоснованно говорит об этом инженер В.Д. Моисеев в предлагаемой книге.

Усложнение и рост мощностей машин, управляемых человеком, явились на рассматриваемом этапе причиной (малозаметной, но бесспорной) глубоких сдвигов, совершающихся в отправных пунктах и центрах преобладающего интереса науки о жизнедеятельности человека. Значение изолированного ручного труда стало падать; все более выдвигалась на первый план роль человека как основного звена в сложном производственном процессе, в управлении сложнейшими машинами, а также в использовании самоуправляющихся машин.

Резко изменились и подходы к изучению физиологических процессов по сравнению с уже охарактеризованными позициями прошлого века. Прежде всего, вместо организма в покое выдвинулся в качестве более важного объекта организм в работе; возникли: физиология труда, психотехника, педагогика труда и т.д. Естественно, что физиология труда начала с изучения процессов грубой физической работы, а методически не могла сразу сойти с прежних, «классических» позиций энергетического изучения труда: газообмена при физической работе, кислородного долга, химического балланса крови, восстановительных процессов и т.д. Но потребности жизни не позволили ей длительно задержаться на этом этапе и властно звали ее к включению в новую проблематику управления и связи.

Вторая черта, с наименьшей неизбежностью начавшая проявляться в новой физиологии, — это изучение деятельности человека. Стало очевидным, что если по отношению к отправлениям покоя можно еще, на худой конец, удовлетворяться изучением их по частям, дробя организм на отдельные частные функции и не покидая позиций атомизма, то во всех активных проявлениях жизнедеятельности организм выступает как настолько неделимое целое, что искусственное дробление становится просто невозможным. Действительно, в координированных, целенаправленных двигательных актах на первый план неустранимо выступают регуляции движения по обрисовывавшейся уже обратной связи, по афферентным сигналам как мышечно-суставных проприорецепторов, так и органов

осязания, зрения, лабиринтов и т.д.; шейно-туловищные рефлекс тонуса и мускулатура ног обеспечивают ручному рабочему процессу устойчивый или подвижный фундамент позы.

Таким образом, львиная доля как мускулатуры, так и рецепторного оснащения неразрывно соучаствуют в любом двигательном действии, если только это в самом деле смысловое действие, а не бесцельный двигательный обрывок.

Такая же неразрываемая связь афферентации и эффекторики, периферии и центра проявляется и во всякого рода активных процессах структурирования. На низших животных — амфибиях — это было показано экспериментально на явлениях регенерации. На высших млекопитающих великолепные опыты школ П.К. Анохина и Э.А. Асратяна у нас, Бэта, Тренделенбурга и др. за рубежом показали значение для восстановления функций, их воспитания и перестройки всей совокупности афферентной информации, текущей с периферии организма к центру, и, следовательно, выявили и здесь наличие неразрывной целостной взаимосвязи центра и периферии.

Работы школы А.Д. Сперанского обнаружили ту же картину неразрывной целостности и в патологических перестройках организма, открыв этим совершенно новые пути и перспективы для хирургии. Невозможно перечислить все направления, по которым стал разрабатываться подход к организму как к неделимому целому, не пассивно взаимодействующему, а активно и целенаправленно воздействующему на окружающий мир.

На этом этапе дала себя знать разница мировоззрений и целей между западным капиталистическим и нашим социалистическим миром. Точка зрения некоторых англо-американских авторов определилась примерно так: «Человек есть пока еще (и, к сожалению!) неустранимое звено в цепи рабочего процесса управления или связи. Изучать его в рабочих состояниях необходимо, во-первых, и прежде всего для того, чтобы заменять его аналогичным искусственным устройством (роботом) везде, где только и как только это возможно. Конечная задача и идеал — это вытеснить живого рабочего из производственного процесса вообще.

...Во-вторых, поскольку покамест, во всяком случае в этом процессе, имеются такие звенья, которые могут быть замещены только человеком, постольку необходимо пристальное изучение его ресурсов и его недостатков в интересах рационализации рабочего процесса. Главные минусы человеческой машины, это: 1) медленность реакций и действий; 2) грубость порогов рецепторов и отсутствие органов чувств для ряда форм энергии (электричество, магнетизм, ультразвук и т.п.); 3) утомляемость; 4) возможность ошибочных действий. Необходимо, с одной стороны,

организовать рабочий процесс так, чтобы четыре перечисленных минуса были в возможно большей степени обезврежены, а с другой стороны, точно определить диапазоны оптимумов человеческого организма и наилучшие условия для их использования: оптимальную освещенность, слышимость, рабочую позу и т.п.».

Если вторая половина изложенной сейчас позиции — определение слабых сторон организма работающего человека и обеспечение для него оптимальных условий работы — вполне приемлема и для нас, то первая — систематическое вытеснение человека из производственного процесса с подстановкой на его место робота — идеологически враждебна нашему мышлению и абсолютно непригодна для нас. Не то, чтобы у нас могли найтись какие-либо возражения против автоматизации. Нет, бесспорно, прогрессирующая автоматизация производства имеет своей другой стороной возрастающую интеллектуализацию труда, освобождение человека от пут более грубой, доступной машинам работы, открывающее ему дорогу к более тонкой и углубленной работе мышления.

Но для нашей страны и для всех социалистических стран, строящих новый мир без эксплуатации, человек есть прежде всего хозяин производственного процесса, его создатель и создатель именно с тем условием, чтобы этот процесс реализовал его сознательную волю и служил его потребностям.

В этих условиях полное вытеснение человека из рабочего процесса означало бы застой и омертвление последнего, ибо робот не умеет творить и изобретать.

Наша отечественная физиология и медицина обязаны подхватить все то новое и прогрессивное, что появилось в развитии зарубежной науки наших дней и в чем мы в ряде отношений пока еще заметно технически отстали от Запада; но она должна наполнить это новое иным целевым содержанием и использовать поражающие новые технические возможности медицины (в частности, ортопедии и хирургии) в целях борьбы за оздоровление, укрепление и обогащение всеми доступными возможностями человека во всей совокупности его деятельности по подчинению себе природы.

Теперь следует сказать несколько слов о другом аспекте сближения и взаимного переплетения между собой биологии и техники, аспекте, несомненно обогащающем как ту, так и другую сторону. Мы имеем в виду моделирование.

Особый интерес к моделированию как необходимое практическое следствие аналогизирования между объектами биологии и техники отмечался в XVII—XVIII столетиях, в эпоху уже упоминавшегося расцвета теоретической механики и биологического механицизма. История науки сохранила нам сведения о садовых статуях Франчини, помещенных в парке

Фонтенбло и совершавших несколько различных шуточно-озорных действий: грозивших пальцем, когда гуляющие приближались к ним с одной стороны, и окатывавших их водой из шланга, когда они подходили с другой; Декарт признавался, что именно они навели его на общую идею рефлекса. Кенэ демонстрировал гидравлическую модель кровообращения по Гарвею; Вокансон построил утку, которая глотала шарики «пищи», имитировала их разжижение и всасывание в желудке и даже извергала испражнения. К сожалению, многие сведения об автоматах этого рода из той эпохи безвозвратно утеряны: в эту пору свободного предпринимательства и отсутствия законов по ограждению авторских прав изобретатели слишком боялись конкуренции и похищения их изобретений и старательно засекречивали их.

Так или иначе из того, что вам известно, видно, что уже в XVIII веке моделирование жизненных процессов переросло первоначальные, чисто развлекательные задачи (им поневоле отдал свою дань еще Леонардо да Винчи) и определило свою цель как чисто исследовательскую, как попытку познать и проверить в активном эксперименте свою трактовку тех или иных физиологических процессов.

В XIX веке интерес к моделированию временно заглох. После Великой французской революции стало уже некого забавлять игрушками, а выдвинувшиеся на первый план проблемы биоэнергетики были связаны с изучением явлений, которые при тогдашнем уровне техники не так-то легко было моделировать. На переживаемом нами ныне этапе развития науки о жизни и жизнедеятельности моделирование возродилось вновь и, будучи подкреплено всеми могучими ресурсами технической химии и электроники, разрослось в настолько широкую область, что уже появилась необходимость в классификационном расчленении и анализе ее в зависимости от многообразных целей и задач. Остановимся вкратце на обзоре выявившихся к настоящему моменту главных классов технико-биологических моделей.

Первый и, может быть, наиболее интересный для физиологов и клиницистов класс моделей можно было бы обозначить как эвристический, характеризуемый чисто исследовательскими задачами. Именно к этому классу относятся механистические модели XVIII века, хотя их создатели и не достигли еще точного формулирования принципов, определяющих исследовательское значение их конструкций. Одно из самых ранних, если вообще не первое, определение того принципа, который в наше время кладется уже вполне сознательно в основу моделей этого рода, мы находим у гениального И.М. Сеченова в его раннем произведении «Рефлексы головного мозга» (1862). Он писал: «Мысль о машинности мозга, при каких бы то ни было условиях, для всякого натуралиста клад. Он в свою жизнь видел столько

разнообразных, причудливых машин, начиная от простого винта до тех сложных организмов, которые все более и более заменяют собою человека в деле физического труда; он столько вдумывался в эти механизмы, что если поставить перед таким натуралистом новую для него машину, закрыть от его глаза ее внутренность и показать лишь начало и конец ее деятельности, то он составит приблизительно верное понятие и об устройстве этой машины, и об ее действии»¹. В таком именно положении находится физиолог по отношению к организму, в частности к головному мозгу. Пользуясь полуобразными терминами, встречаемыми в современной англо-американской литературе, можно сказать, что «закрытая от глаз внутренность машины» мозга заключена в непроницаемый «черный ящик» (black-box), в отношении которого нам доступны только: все то, что поступает в этот черный ящик через его входы (inputs), и вся совокупность его активности, прибывающей из его глубин на выходы (Outputs)². Но если по отношению к «самой причудливой машине в мире» (И.М. Сеченов) — мозгу — никакой инженерной опытности не может быть достаточно, чтобы чисто мыслительным путем постигнуть из сопоставления «входных» и «выходных» процессов его внутренние, скрытые от нас механизмы, то можно и перспективно пойти другим путем. Мы задаемся рабочей гипотезой об устройстве того внутреннего механизма, который, по нашему представлению, обуславливает наблюдаемые нами явления «выхода» в связи с данными воздействиями на «входы». Мы воплощаем эту рабочую гипотезу в вещественную модель и наблюдаем, как она будет функционировать. Если функциональные соотношения «входных» и «выходных» явлений модели не смогли воспроизвести тех, какие регистрируются на живом объекте, то гипотеза опровергнута, но мы все же обогащены хотя бы отрицательным опытом. Если же модель имитирует жизненные явления и соотношение входно-выходных процессов верно, то это, правда, еще не подтверждает полностью правильности исходной гипотезы (не исключено, что подобные же соотношения входа — выхода могли бы реализоваться каким-нибудь другим механизмом), но все же сильно повышает правдоподобность исходной гипотезы и открывает путь к тому, чтобы, постепенно и осторожно надстраивая и усложняя экспериментальную модель и наблюдая за ее отправлениями и реакциями, добиваться понемногу расширения и уточнения круга выполняемых ею функций. Либо исходная гипотеза будет

¹ И.М. Сеченов. Рефлексы головного мозга. СПб, 1866, стр. 11—12.

² Единственные данные, какие мы можем на сегодня получать изнутри «черного ящика» — мозга, — просвечивающие сквозь черепные стенки электроэнцефалографические потенциалы, еще совершенно не поддаются расшифровке (см. Проблемы кибернетики в области изучения биотоков мозга, стр. 261).

опровергнута на каком-то этапе работы с моделью, либо вероятность того, что данный внутренний механизм «черного ящика» разгадан, будет все время возрастать и укрепляться.

Вот в сущности весь тот краткий методический кодекс, который определяет цель и назначение экспериментального моделирования и правильное обращение с последним. Главная опасность на исследовательском пути — это увлечение внешней подражательностью, впечатляющей эффективностью поверхностного сходства всех этих многочисленных электроцерепах и магнитомышей, демонстрируемых и описываемых в популярной литературе на Западе, часто с намеренным засекречиванием их рабочей схемы. Отсюда лишь один шаг к воскрешению развлекательных автоматов XVII—XVIII веков, шаг очень малаплодотворный для прогресса подлинной физиологической науки.

Упомянув здесь о том, что не внешняя эффектная наглядность является тем главным, чего должно добиваться истинное эвристическое моделирование, скажем попутно, что в наше время определился один характерный подкласс эвристических моделей, иногда вовсе не воплощаемых в вещественный механизм. Если рабочей гипотезой является, например, дифференциальное уравнение или система таковых, предназначенных для характеристики количественной стороны того или другого биологического явления, то построение и проверочные решения таких уравнений тоже представляют собой своеобразное моделирование, хотя математическая «модель» явления или процесса до самого конца остается только на бумаге. Часто непреодолимые в прежнее время трудности решения тяжеловесных и многочисленных задач подобного рода сейчас преодолены созданием автоматических вычислительных машин как непрерывного, так и цифрового типов (последний тип описывается в настоящей книге). Ряд задач, например, по теории пульсовой волны, структуре и значению элементов электрокардиограммы, пневмодинамике дыхательного процесса и др., успешно «моделируется», изучается и проверяется при посредстве этих машин, без обращения к услугам токаря и электротехника.

Теперь следует сказать несколько слов о группе моделей уже не исследовательского, а чисто практического назначения. Эта группа распадается на два больших класса, имеющих большой практический интерес и значение для медицины (ценности и значимости моделей этих классов для инженерно-технических задач мы здесь касаться не будем).

В первый из этих двух классов входит вся практическая автоматика, в которой моделирующее воспроизведение тех или других функций живого организма имеет непосредственной задачей посменную или длительную замену организма или его части искусственным устройством. В области

чистой производственной техники сюда относятся все автоматы, целиком замещающие человека в каком-либо звене рабочего процесса. Их история начинается еще с прошлого века, когда были придуманы автоматы, действующие по типу реакции, простой или с выбором: автоматы для продажи марок, билетов, шоколада и т. п.; для размена металлических денег; автоматы, реагирующие на начало пожара сигналом или включением заливательного устройства, и др.

Бурные темпы изобретения новых видов датчиков и развития усилительной техники привели к широкому разрастанию списка автоматов по сортировке и браковке (с «органами чувств» самого разнообразного рода) и автоматов по выполнению сложного производственного процесса («поточной линии»), по управлению работой станков, контролю на расстоянии и т. п. — автоматики, интенсивно внедряемой сейчас в многочисленные отрасли нашей отечественной промышленности. Ценность всех автоматов описываемого класса как раз в преодолении ими тех «узких мест» человеческого организма, которые перечислялись выше: в доступной автоматам высокой чувствительности рецепторов, скорости, неустойчивости и застрахованности от ошибочных реакций.

В медицинской области список автоматов и полуавтоматов рассматриваемого класса растет и пополняется с каждым днем (именно здесь нашей медицинской промышленности надлежит приложить все усилия к дальнейшему быстрому развитию и усовершенствованию производства автоматов и полуавтоматов). Сюда относятся, во-первых, протезы всех видов: ушные протезы, возмещающие утраченный слух обходным путем, например, через вибрационную кожно-костную чувствительность; энергично разрабатываемые «читающие машины» для частичного возмещения зрения слепым, наконец, активные, осязаемые датчиками и моторизованные протезы, возмещающие функции ампутированных конечностей. Нельзя не отметить обгоняющих Америку передовых достижений по ручным протезам рабочей группы Московского института протезирования под научным руководством инженера А.Е. Кобринского и доцента В.С. Гурфинкеля. Во-вторых, сюда же входят все более сложные, совершенные и удивительные агрегаты (частью описываемые в предлагаемой книге) для временной замены функциональных систем организма, выключаемых, например, для производства операции (заменители сердца и малого круга кровообращения для сложных операций в грудной полости и т.п.) или же временно вышедших из строя вследствие болезненного процесса (таковы приборы и камеры для обеспечения дыхания при острых стадиях полиомиелита и др.). Не приходится и подчеркивать, что современный уровень техники обещает здесь огромные возможности по еще почти не поднятой «целине».

Второй класс автоматов практического назначения — это те самые автоматы, которые часто образно именуют «электронным мозгом» и которым посвящены основные главы настоящей книги. Это — автоматические вычислительные или счетно-решающие машины, проделавшие за какие-нибудь 15-20 лет поистине гигантский путь развития. Их создание — результат движения друг к другу навстречу математических дисциплин — теории приближенных вычислений и теории алгоритмов¹ — и электронной техники, развившейся главным образом на практических задачах техники связи. Включение в число алгоритмов, доступных таким машинам, также формул математической логики и «теории высказываний» сделало доступными для них и задачи логического порядка, превратив их по ряду отношений в так называемые автоматы-заменители мыслящего мозга. Решающую роль для расширения диапазона возможностей описываемых машин сыграло изобретение ряда устройств, выполняющих функции памяти, 'как долговременной, хранящей запечатленную информацию в течение неопределенно долгого времени, так и оперативной, подобной по своим функциям удержанию цифр и чисел «в уме» по ходу какому-нибудь вычисления. О двух поражающих количественных характеристиках электронно-вычислительных машин — их гигантском «объеме внимания», позволяющем им решать системы из неодолимого для человеческого ума количества уравнений, и их сказочной скорости работы, измеряемой миллионами элементарных операций в секунду — уже много раз сообщалось и в научной, и в общей печати.

В предлагаемой книге читатель найдет подробные сведения об этой стороне дела, сообщаемые одним из ведущих научных специалистов в данной области.

Как справедливо указывает сам автор этой книги, «электронный мозг» есть один из представителей обширной совокупности изобретенных человечеством орудий, усиливающих его непосредственные возможности. Подзорная труба, телескоп, телевизор усиливают во много раз непосредственные возможности органа зрения. Мотоцикл, автомобиль, локомотив — подобные же усилители для скорости передвижения и тяговой силы. Автоматическая вычислительная машина проделывает точно такой же по смыслу комплекс вычислений, сравнений или логических операций, какой ценою долговременных и напряженных усилий мозга человек мог бы выполнить и сам, но выполняет его и безмерно быстрее, и безошибочнее, и с полной неутомимостью. Кроме того, практически неограниченный объем

¹ Алгоритмом в математике называют любое правило или совокупность правил, дающих рецепт хода или способа решения вычислительной задачи.

«памяти» и «внимания» позволяет поручать ей и такие вычислительные задачи, которые по своей громоздкости вообще далеко превышают возможности мозга человека; как легко везомый тепловозом груз в несколько тысяч тонн превышает то, что человек смог бы за всю свою жизнь перевозить на тачке.

Области применения электронно-счетных машин, несомненно, еще далеко не исчерпаны; одним из подтверждений этому является предлагаемая книга — своего рода заявка на совершенно нетронутую сферу, в которой следует ждать их плодотворного использования. Собственно говоря, эти машины применимы для решения всех тех задач, которые могут быть запрограммированы в символах элементарной математики или математической логики и для которых может быть дан общий алгоритм. Глубокие исследования советских математиков на протяжении последних лет смогли показать существование в математике неалгоритмируемых, т.е. тем самым недоступных сегодняшним аналитическим машинам, задач и, следовательно, определить реальные границы возможностей для машин этого рода. Границы эти во всяком случае оказываются чрезвычайно широкими и нестеснительными для очень разносторонней практики.

Здесь необходимо сделать сразу же два очень существенных разъяснения.

1. За последние несколько лет как в нашей стране, так и за рубежом появился ряд работ, задающихся целью выяснить в принципиальном, методологическом плане, какое место по отношению к живому, мыслящему мозгу могут занимать существующие на сегодня аналитические машины и на какое место они могут претендовать в будущем. Этот отнюдь непростой вопрос еще резко осложнен, к сожалению, тем духом деляческого рекламизма, каким проникнуты многие из зарубежных публикаций. Если отнестись к таким публикациям с простодушной доверчивостью, то получится, что существуют машины, способные перешеголять любого гения.

В некоторых публикациях сообщается, что уже осуществлены машины, способные автоматически сочинять литературно-художественные произведения на любую заданную тему, притом сойд молниеносной скоростью, какая характеризует электронно-счетные машины. В ряде сообщений говорится о существовании и даже якобы о публичной демонстрации машин-композиторов, сочиняющих музыку тоже на любую заданную тему. В любой день можно ждать информации о машинах, создающих шедевры живописи и скульптуры, перед которыми потускнеют творения Рафаэля и Кановы. Цель таких беззастенчивых реклам совершенно ясна: это пропаганда доводимой до крайних пределов идеологии полного вытеснения человека изо всех отраслей деятельности, — сегодня на производстве, а завтра и в областях научного и художественного творчества.

Что можно вывести из того, что нам известно о структуре, технике и способах работы электронно-вычислительных машин и из философско-критических высказываний в этой области?

Самое яркое и принципиально глубокое отличие таких машин от живого заключается отнюдь не в том, что первые содержат в своих схемах сотни или тысячи электронных ламп и транзисторов, а второй — многие миллиарды функциональных элементов, нервных клеток и проводников. Главное различие (этого мнения как будто бы придерживаются все серьезные критики то данному вопросу) в том, что электронная машина сооружается человеком в определенных, осознанных им целях, человек закладывает в нее ту или другую программу, отвечающую его намерениям, в пределах которой машина и будет работать, проявляя все свои великолепные качества быстроты и точности. В живой организм и в его мозг никто извне не вкладывал никакой программы. Проблема того, как, какими путями и механизмами эволюционно структурировался и программировался живой мозг, как под влиянием труда и общественных отношений самопрограммировался мозг питекантропа, становясь мозгом современного человека, — это, может быть, самая центральная и глубокая из биосоциальных проблем. Но основным и неоспоримым остается факт, что весь этот процесс совершался в порядке активной жизнедеятельности и самоорганизации.

Отсюда вытекает трудно оспоримый вывод, что автоматическая вычислительная машина принципиально не может оказаться качественно и творчески умнее своего создателя и программатора. В предлагаемой книге читатель увидит, что современные электронные машины обладают приспособлениями для осуществления самоорганизующихся процессов, т.е. могут находить в ряду возможных линий заложенной в них программы оптимальные или наиболее выгодным образом сокращенные пути решения внесенной в них задачи. Но в том-то и дело, что сами эти линии возможного улучшения и перестройки программ в их деталях должны быть предусмотрены автором машины и сознательно заложены в нее.

2. Вопрос о том, чем же в таком случае, помимо своей быстроты, может быть полезной электронная машина в роли орудия чисто мыслительных, логических процессов, осложняется еще одним серьезным опасением, высказывавшимся в отечественной литературе и на какой-то срок настораживавшим некоторых из наших мыслителей против кибернетики вообще. Это опасение сводится к тому, что как сама математическая логика и теория высказываний, так и работающие по их формулам электронно-аналитические машины функционируют в рамках формальной логики и силлогистики.

Мы не будем здесь касаться неисключенной возможности того, что наша советская философская и изобретательская мысль сумеет вложить в будущие машины и программы операций диалектической логики. Это — дело будущего.

Мы же остановимся на другом, что прямо вытекает из высказанного выше о реальных границах возможностей аналитических машин и об их отношении к творчеству. Пусть современным машинам и не по силам диалектика, как не по силам им полноценное творчество, но ведь мы и не собираемся возлагать на них ни того, ни другого. В каждом глубоком мыслительном процессе есть, и зачастую очень немалая, доля черновой работы суждений, сопоставлений и умозаключений, так же, как во всяком вычислении из любой наивысшей области математики бывает немало самых элементарных сложений, вычитаний и умножений чисел. Формальная логика не опровергается и не отменяется диалектикой, а только отводится ею на свое место; она играет в любом мыслительном процессе роль, вполне аналогичную роли таблицы умножения в вычислительной работе. И как бы возвышенно ни был настроен для работы мозг мыслителя-диалектика, его продукция сможет пойти на смарку, если этот мозг напугает в элементарных силлогизмах: « $2 \times 2=4$ » и «barbara—celarent».

Раз автоматическая вычислительная машина не творец и не мыслитель, а орудие, — мысль, пронизывающая всю настоящую книгу, — то наша задача состоит в том, чтобы определить, насколько она полезна для нас именно в роли вспомогательного орудия: 1) насколько она в состоянии решать колоссально-громоздкие задачи многочисленных систем уравнений или производить заключения и сопоставления не менее множественных симптомов заболевания; 2) насколько она в состоянии, раскрепостив и разгрузив мыслящий мозг человека (биолога, физиолога, врача) от необходимых, но стандартных, доступных запрограммированию частностей, открыть для него этим путем все возможности творческого мышления с захватом решаемого вопроса вглубь и с широкой возможностью увидеть целостный «лес» проблемы благодаря устранению заслонявших его «деревьев».

Предлагаемая читателю книга составлена автором, имеющим за собой большой творческий стаж по разработке и сооружению отечественных электронных автоматических вычислительных машин. Инициатива расширения комплексированных творческих усилий биологов и инженеров исходит на этот раз от последних. Автором, инженером В.Д. Моисеевым, были приложены все усилия к тому, чтобы сделать свою книгу и доходчивой, и интересной широкому кругу биологов и медиков и максимально предохранить ее от вульгаризации и упрощенчества, представляющих немаловажную опасность на начальном этапе каждого нового направления. Автор этого предисловия и автор книги надеются, что получат со стороны читателей ценные критические рекомендации и указания, и что читатели отнесутся с доброжелательством, если не к качествам выполнения данного труда, то к тому заслуживающему разработки новому направлению, заявкой которого является по сути дела предлагаемая книга.

НОВЫЕ ЛИНИИ РАЗВИТИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИОЛОГИИ

Каждый этап развития производственных форм создает новые запросы к существующим отраслям науки, порождая попутно и новые научные дисциплины, призванные дать ответы на эти запросы и осветить линии их дальнейшей эволюции. Примерами таких новых отраслей, возникших на глазах нашего поколения, могут послужить квантовая и ядерная физика, а в последнее десятилетие — кибернетика. И в новорожденных дисциплинах, и в старых науках, вступающих в новую полосу развития, всегда об руку идет выявление новых проблем и отвечающих им новых методов исследования.

Такой именно поворотный период переживает в настоящее время биологическая группа наук и, в частности, тематически наиболее близкая нам физиология. В противовес значительной оторванности от запросов практики, какую отличалась физиология прошлого столетия, в период после первой мировой войны возникает прикладная группа, включающая в себя психофизиологию труда, мастерства и спорта и профессиографический комплекс; наперекор установкам старой физиологии, бывшей в течение всего 19-го века физиологией животных, на первые планы выдвигаются проблемы физиологии человеческого организма.

Не задерживаясь на этих веяниях уже почти полувековой давности, остановимся на тех переменах курса, которые переживаются физиологией теперь, на наших глазах. Начав с «ведущей переменной» — нарождающейся новой проблематики, просмотрим затем очень бегло группу новых методов, стремящихся отвечать этой проблематике.

В прикладной области останавливает на себе внимание охлаждение к вопросам физиологии физического труда, занимавшим несколько десятилетий тому назад преобладающее место в виде энергетики труда,

биомеханики, врачебного контроля и т.п. Естественным порядком, в связи с прогрессирующим перемещением центра тяжести профессиональной занятости в область более тонких и интеллектуальных форм участия рабочего в механизированных производственных процессах, в прикладной физиологии выступают на первый план новые проблемы, и не мыслившиеся раньше.

Главное место занимают здесь, по-видимому, две большие проблемные группы. Одна из них, — наиболее тесно связанная с кибернетикой и в немалой мере бывшая одною из ее родоначальниц, — это проблематика деятельности человека как одного из звеньев комплекса, связывающего рабочего в одно целое с машиной или любым иным техническим устройством. Сюда входят и вопросы рационального управления теми элементами комплекса, которые либо невозможно, либо нецелесообразно поручить автоматике, и вопросы организации обоюдосторонней связи, приводящие к совершенно новым аспектам физиологии рецепторов и сложных форм реагирования. В качестве немногих примеров таких аспектов назову здесь: проблему соотношений сигнала и шума; анализ порогов по распознаванию и различению конфигураций; наконец, вопросы кодирования и вообще все многочисленные точки соприкосновения физиологии рецепторов с общей теорией информации.

Вторая из упомянутых выше групп вопросов, которая также только и могла возникнуть после того, как техника достигла ее нынешнего уровня, — это вопросы деятельности человека в резко необычных условиях, создающих тяжелые добавочные нагрузки на организм и предъявляющих особо высокие требования к его приспособляемости. На первом месте, если не по производственной значимости, то по их связи с яркой героикой наших отечественных достижений, окажутся здесь вопросы жизнедеятельности и поведения организма в условиях космического полета, в фазах гравитационных перегрузок и невесомости, и при тех, пока еще неизбежных, отклонениях от оптимума комфорта, которые не удастся устранить и самым тщательным кондиционированием и ограждением кабины космического корабля. Но и помимо космонавтики, которая, очевидно, еще надолго останется уделом немногих избранных, сегодняшняя техника изобилует видами деятельности с очень высокой нагрузкой на центрально-нервные приборы человека.

Теоретическая физиологическая мысль оказалась заметно более инертной в своем отклике на задачи, выдвигаемые практикой жизни. По сравнению с тем широким кругом прикладных направлений, о котором вкратце сказано выше, область ее достижений и даже замыслов еще очень невелика. Несомненно то, что долгом нас всех, а особенно младшего по-

коления физиологов, является ликвидация этого отставания теории, поиск и формулирование новых отправных точек исследования, рабочих гипотез и принципиальных переоценок.

В настоящий момент представляется возможным выделить две теоретические линии, бесспорно новые, но уже успевшие в какой-то мере сформулировать свои права на существование и первоначальные задачи.

Первая линия – это группа вопросов физиологической регуляции, теснейшим образом связанная с теорией автоматического регулирования. Первыми шагами явились здесь, вслед за формулированием основных принципов, исследования стабилизирующих регуляционных систем организма: систем термо- и хеморегуляции, управления циркуляционными процессами и т.п. В последние годы стали появляться и исследования следящих регуляционных систем, среди которых покамест наиболее продвинуты исследования кольцевого управления зрачковой реакцией и движениями глаз. Наряду с этим все более расширяется круг исследований по линии мышечного тонуса и мышечных автоматизмов: ритмика крыльного и звукоиздающего механизмов насекомого, физиологические клонусы и треморы человека и высших животных, статика стояния, вестибуло-отолитовые регуляции тонуса и др. Узловой ведущий принцип всех и всяческих регуляций этого рода – принцип циклического управления на обратных связях – был сформулирован в нашей отечественной литературе определенно раньше, чем на западе: применительно к управлению двигателем – П.К. Анохиным в 1934 г., докладчиком – в 1929 году. В настоящее время ведущее и совершенно универсальное значение этого принципа признано всеми, после немалого числа выдержанных научных боев.

Нужно подчеркнуть, что признание этого принципа кольцевой взаимозависимости позволило осветить по-новому и более глубоко факт неразрывной целостности организма во всех его отправлениях. Необходимость согласованного соучастия сенсорных, эффекторных и центральных систем в каждом акте организма понималась и физиологами, стоявшими на позициях разомкнутой рефлекторной дуги. Но эти позиции необходимым образом вели к трактовке каждого не мгновенного процесса как мозаики из последовательных рефлексов, оборванных каждый раз на конце дуги; и только поставленный на место этих дуг принцип рефлекторного кольца подвел настоящий фундамент под понимание целостной непрерывной взаимосвязи всех названных систем и в сосуществовании, и во времени.

Вторая из линий теоретического обновления физиологии – это нарождающаяся на наших глазах область физиологии активности. Необходимость расширить круг отправлений, подлежащих физиологическому

изучению, в сторону наиболее важных по значимости активных действий, противопоставляя их занимавшим почти исключительно все внимание физиологов реактивным процессам, становится все более настоятельной. Сосредоточение внимания на реактивных отправлениях, закономерно детерминированных вызывающими их внешними стимулами, обуславливалось, видимо, их большей доступностью для экспериментирования, позволявшей изучать преобладающую часть таких процессов на животных, в лабораторном станке, а нередко и под наркозом. Легче формулировалась и задача исследования, сводившаяся в каждом случае к нахождению закона, по которому данное воздействие на «входы» организма обязательно обуславливает то, а не иное ответное проявление на его «выходах». Нетрудно видеть, однако, что такое сужение понятия организма до рамок реактивной машины оставляет вне поля зрения наиболее биологически важные проявления его жизнедеятельности, где живое существо само определяет и ставит себе задачи действия, откликающиеся на стимул, но не обусловленные им с обязывающей однозначностью; где это существо не плывет по течению направляющей его стимуляции из окружения, но вступает в борьбу и с этим окружением, и с притекающей стимуляцией, преодолевая их и добиваясь изменения того и другой в сторону, наиболее отвечающую его биологической заинтересованности. Легко понять, что переключение научного внимания на эти процессы активности есть в то же время и отход от механизма трактовки организма как «реактивной машины», и продолжение ухода от монополизма рефлекторной дуги как кирпича поведения, — монополизма, уже отыгравшего свою когда-то прогрессивную роль в истории объективного знания.

Самым своеобразным и характерным из того, с чем сталкивается физиология при обращении к проблеме активности, является то, что очередная задача действия, сформулированная особью «изнутри» с учетом текущей ситуации, но без механической обусловленности ею, необходимым образом строится как своего рода экстраполяция будущего: целесообразно спроектировать действие возможно только на основании определенного образа или модели того, к чему это действие должно привести и ради чего оно предпринимается. Но так как предстоящее может быть расценено или предвидено не иначе как в порядке вероятностного прогнозирования (удачный термин И.М. Фейгенберга), то ясно, что и подход к анализу всех вскрывшихся здесь физиологических процессов должен основываться на теории вероятностей и ее новейших ветвях, о которых еще придется упомянуть ниже.

В заключение этого раздела хотелось бы отметить, что помимо биологической важности тех отправлений, которые подлежат ведению физиологии активности, в этой последней заключен и еще один методологически

важный шаг. Положение о вероятностном моделировании будущего, лежащем в основе активности всех организмов, начиная от самых низших, позволяет создать строго материалистическую трактовку таких понятий, как целесообразность или целенаправленность, находившихся до сих пор в безраздельном владении виталисто-телеологистов. В то же время это положение с вытекающими из него следствиями прокладывает очень четкую и принципиальную грань между возможностями живого организма и всем тем, что доступно мыслимым на сегодня работам. Физиологии еще предстоит, в комплексе с кибернетикой, нащупать и сформулировать те внутренние механизмы, на которых базировано обсуждаемое здесь «отображение предстоящего в настоящем».

Теперь следует попытаться в самом беглом очерке систематизировать и поименовать те методы, состоящие на вооружении современной физиологии, которые обещают оказаться наиболее перспективными по ходу ее ближайшего развития для освещения обрисованной выше проблематики.

По линии экспериментально-аппаратурной на первом месте, разумеется, следует поставить обширную электрографическую группу, возникшую в прямой связи с развитием технической электроники. Список разновидностей и областей применения методов этой группы уже сейчас очень широк и достаточно известен; поэтому, не предпринимая их перечисления, остановим внимание лишь на нескольких обогащенных и своеобразных видах. К ним относятся, во-первых, комплексированные методы изучения конфигураций: многоэлектродные установки электроэнцефалографического отведения (М.Н. Ливанов, Гр. Уолтер), стремящиеся дать целостную картину распределения нервного процесса по коре мозга, вектор-кардиографическая техника, воспроизводящая полную пространственную картину переменного электрического поля сердца, и т.п. К другой «обогащенной» группе правильно будет отнести методы, где улавливаемый процесс тут же, одновременно, анализируется или преобразуется тем или другим способом для уяснения его сущности. Сюда отойдут, например, сумматоры или интеграторы амплитуд колебательного процесса в мозгу или в мышце, синхронные анализаторы частотных спектров, автоматические коррелографы, установки, повышающие во много раз отношение сигнал: шум в случаях едва уловимых процессов и т.п. Наконец, к этому же разделу нужно отнести микроманипуляционные техники изучения активности одиночных волокон или окончаний, позволившие установить тончайшие проявления активности, каковы генераторные потенциалы, «миниатюрные» потенциалы, функции пачиниевых телец или гамма-эфферентов и др.

Те же могущественные ресурсы электроники проложили в настоящее время путь и к разностороннему прикладному использованию упоминав-

шихся выше принципов обратной связи и кольцевого взаимодействия. В качестве ярких примеров можно привести здесь приборы — автоматы для временного отключения малого круга кровообращения или сердца в целом, автоматы для непрерывного анализа и круговой стимуляции сердечного ритма (М.Л. Цетлин), моторизованные протезы с управлением за счет усиленных биопотенциалов с мышечных культей (Кобринский и Гурфинкель) и т.п. В этом направлении путь, несомненно, лежит в сторону создания активных очувствленных протезов на вживленных электродах и транзисторах, над чем работает сейчас Московский институт протезирования.

Переходя теперь от экспериментальных методов к методам анализа, нужно первым делом констатировать бурно растущее внедрение математики в разработку физиологических проблем и опытных результатов. Все та же мощная электронная техника создала здесь, в форме счетно-аналитических машин как цифрового, так и аналогового типа, новые средства для всевозможных видов анализа результатов опытов и для экспериментального моделирования. Если прошедшие одно время через стадию «крика моды» модельные игрушечные черепахи и мыши и не являются ни в какой мере серьезным подспорьем для науки, то не может быть сомнения в реальной эвристической пользе опытного моделирования другого рода, нередко вовсе не сопровождающегося изготовлением моделей в металле. Проверка рабочих гипотез, например, о функциях нейронных сетей мозга путем введения предположительных программ в аналитическую машину и сличения выдаваемых ею результатов с работой живого мозга может дать нам иллюстрацию экспериментального моделирования, способного привести к действительно ценным научным выводам.

Остается сказать несколько слов о другом пути вращающегося математике в биологические дисциплины. Вся история науки, начиная с древних Китая и Египта, показывает, что новые разделы и направления возникали и развивались в математике в прямой зависимости от нарождавшихся практических потребностей и общих задач. Каждая из создававшихся последовательно математических дисциплин всегда имела в основе своего появления созревание вновь определившихся научно-технических вопросов и спрос на их количественное освещение. Так родилось и проделало огромный путь развития в 18-м веке исчисление бесконечно малых; так в 19-м веке из почти развлекательных задач по анализу азартных игр, занимавших собою старых алгебраистов, развились теория вероятностей и математическая статистика и т.п. Каждый из таких новых разделов создавался потому, что среди прежних ресурсов математики не находилось ключа, подходящего к «замку» качественно новой отрасли естествознания или техники. То же происходит на наших глазах с «математизацией» биологии. Поэтому, наряду с упомянутым выше расширением вычислительных возможностей, не

несущим с собой ничего принципиально нового, мы наблюдаем может быть еще недостаточно определившуюся, но настойчивую разработку математических дисциплин, либо совсем новых, либо менее мыслившихся до наших дней, как нечто отвечающее запросам биологии, — подобно тому, как ни один ученый 17-го века не мог и подумать о приложимости начал теории вероятностей к физике жидкостей или газов.

Ранее других нашли себе применение в биологии вариационная статистика и теория ошибок. Встречая для себя все больше точек приложения в токсикологии, бактериологии, генетике, экологии и др., обе эти дисциплины продолжают в наше время обрастать новыми и более точными методами анализа.

Порожденный задачами кибернетики интерес к общей теории информации не только привел к постановке ее на прочные математические рельсы, но и внес вместе с нею в психофизиологические и биологические проблемы широкую область математической логики. Ее пытаются использовать и для проблем физиологии и патологии речи, и для анализа функций нейронных сетей, и для теории кодирования в нервной системе (проблема специфичности нервного импульса) и т.д. Наконец, пробуждение интереса к физиологии активности, с ее трактовкой вероятностного прогнозирования и борьбы с окружением за осуществление намеченной задачи, приводит к попыткам осмыслить и динамическое «равновесие» организма со средой и гомеостазис как цепи активно-конфликтных состояний с окружающим миром, и поставить на службу физиологии такие ветви математики, как общая теория игр, теории конфликтов и стратегий и др., что менее всего приходило на мысль раньше.

Эти и подобные им искания принципиально новых математических направлений, способных дать наибольший резонанс с требованиями биологии, настолько разнообразны, что перечислить их не представляется возможным. Очень вероятно, что в ближайшее время мы увидим среди этих направлений такие, как например, теория конфигураций, необходимость которой явственно ощущается уже сейчас в осмыслении механизмов регенерации и морфогенеза, принципов наследственной передачи, а также все еще загадочной области распознавания фигур; принесут свою дань самые абстрактные сейчас разделы общей теории множеств, теории групп и т.п. Бесплезно было бы и пробовать прогнозировать, которые из этих направлений отсеются, какие разрастутся, какие родятся вновь. Ясно только одно: что биологическая группа наук достигла к нашим дням какого-то важного водораздела или перевала, за которым, как бывает и в путешествиях, открывается взору обширная панорама неизведанного. Туда и надлежит теперь планомерно держать путь.

НОВЫЕ ЛИНИИ РАЗВИТИЯ В ФИЗИОЛОГИИ И ИХ СООТНОШЕНИЕ С КИБЕРНЕТИКОЙ

Начиная примерно со второй четверти нашего века, физиология вступила в новую фазу или новый период своего развития, пришедший на смену «классическому» периоду. Весь путь, пройденный физиологией за предшествующее столетие и достойный названия «классического», совершался под знаком стихийного материализма. Это мировоззрение руководило и прославившими свое время исследователями, — их было слишком много, чтобы перечислить здесь даже самые крупные имена, — и популяризаторами, на книгах которых воспитывались младшие поколения.

Стихийный материализм претерпел немало боев как с откровенными мракобесами фидеизма, так и с более тонкими и опасными противниками из виталистического лагеря. Эти бои способствовали тому, что материалистические воззрения на природу организма и совершающихся в нем процессов, на мозг и мышление получили закалку и стали мощным оружием идеологической борьбы против всевозможных поползновений сторонников идеалистических взглядов.

Наша отечественная наука может по праву гордиться тем, что, давши блестящую плеяду физиологов мирового значения, авторов важнейших исследований по всем разделам физиологии, она смогла при этом выдвинуть два имени непреходящей исторической значимости — И.М. Сеченова и И.П. Павлова, — которые оказали наибольшее влияние на торжество материалистического принципа и подхода к трактовке всех процессов организма, возглавляемых высшей нервной деятельностью.

И если наше время смогло открыть перед физиологической мыслью новые горизонты и перспективы, то только благодаря тому, что физио-

логия обладала уже важнейшими отправными точками в сокровищнице достижений этих корифеев классического периода науки о жизнедеятельности.

Вся история положительного знания приводит к неоспоримому выводу, что неукоснительное развитие всех отраслей науки о природе от древнейших времен, от Фалеса и Пифагора, до наших дней обязано непрерывным прогрессом тому, что каждая очередная ступень развития науки находила в себе силы для беспощадного преодоления предыдущей.

Все исторические примеры, начиная с торжества гелиоцентрической системы и кончая той революцией, которую в начале нашего века пережила физика, говорят о том, что мы должны уметь соединять в себе преклонение и пиетет перед крупнейшими учеными предшествующей эпохи с безбоязненным отрицанием в их творениях того, что уже пережило свою фазу прогрессивности и может стать (как и бывало не раз) тормозом для дальнейшего развития науки.

В естествознании, как и всюду, есть великие деятели, но нет и не может быть непрекаемых авторитетов.

Но преемственность развития и его непрерывность — не одно и то же. История каждой ветви естествознания знает периоды (иногда очень длительные) спокойного и непрерывного развития по установившемуся руслу. Но эти периоды непрерывности сменяются время от времени диалектическими скачками развития, полосами то более мягкой, то бурно революционной смены устоявшихся представлений и концепций — вроде той крутой ломки самых фундаментальных понятий физики, которая начата была трудами и открытиями Планка, Эйнштейна, Бора и их знаменитых современников. И эти фазы диалектического отрицания и антитезы не менее преемственны в смысле их исторической необходимости и обусловленности, нежели полосы спокойного и непрерывного развития, но они отражают собой назревшую по тем или иным причинам необходимость критического пересмотра отправных точек мышления, свойственных завершенному периоду данной науки.

Все великие заслуги физиологии классического периода не могут уже заслонить от нас того, что она — дочь своего времени — явилась в основном плодом механистического материализма. И, несомненно, на нашей обязанности лежит выяснение тех недостатков, имманентно присущих механистической методологии в естествознании, которые в полной мере отразились и в воззрениях представителей классического периода физиологии, и постановка научной физиологии на прочные рельсы материалистической диалектики.

По-видимому, всем ходом исторического развития и возникновением новых производственных форм приходится в первую очередь объяснять зарождение как тех новых линий развития физиологии, которым посвящен настоящий доклад, так и тех весьма общих задач организации труда, которые привели после ряда стихийных попыток к рождению научной кибернетики. Если понимать кибернетику как общую науку об управлении сложными системами, информации и связи (так именно она и будет пониматься во всем последующем изложении), то обнаружится, что очень большая и важная часть вопросов, вставших перед современной физиологией и направивших ее на новые пути развития, близко и тесно соприкасается с теми более общими теоретическими задачами, для разрешения которых и была предпринята разработка научной кибернетики.

Отсюда делается понятным и то, что кибернетика нашла и продолжает находить для себя вдохновляющие примеры в новых открытиях и материалах физиологии, и то, что физиология (главным образом наша отечественная) сумела сформулировать некоторые из наиболее важных кибернетических понятий раньше еще, чем появились на свет первые обобщающие труды зарубежных кибернетиков. Так или иначе, обнаружившаяся близость и прямая связь между актуальными задачами физиологии и теми проблемами, над которыми работает кибернетика, приводят к тому, что последняя оказывается в настоящее время ценнейшим методическим орудием для физиологического исследования. Таким орудием при правильном и умелом его использовании является и выработанный кибернетикой круг понятий и терминов, и побуждаемые ею к разработке новые ветви математики, и, наконец, те неисчерпаемо богатые технические ресурсы электроники, которые оказалось возможным в разнообразнейших видах поставить на службу физиологическому исследованию.

Необходимо лишь еще раз подчеркнуть, что было бы глубоко ошибочно рассматривать кибернетику как ввезенную на нашу почву определенную доктрину с теми или иными достоинствами и пороками (так у нас и пытались рассматривать эту науку первоначально). Это — наука, которая может и должна быть поставлена на правильные методологические рельсы и которая способна принести неопределимую методическую пользу биологической науке вообще и физиологии, в частности.

Последний, приблизительно полувековой, период является временем глубоких и очень разносторонних сдвигов, продолжающихся и сейчас и касающихся как объектов исследования, так и всей теории и методологии физиологической науки. Прежде всего, физиология классического периода была почти исключительно физиологией животных с постепенным типо-

вым повышением их уровня по филогенетической лестнице (лягушка — голубь—кошка—собака—макака). В связи с этим она слабо соприкасалась с практикой. В последний период, наоборот, все более повышается удельный вес физиологии человека и возрастает количество точек приложения ее к жизненной практике.

На место характерного для классики стремления изучать функции органов и систем в состояниях покоя (декапитация, децеребрация, наркоз, привязной станок) приходит исследование человека в условиях деятельности, возникают прикладные дисциплины (физиология труда, биомеханика, физиологическая профессиография и т.д.). Это перемещение интереса в сторону деятельных, рабочих состояний особенно сказывается в повышении внимания к двигательным функциям — разделу физиологии, бывшему, за минимальными исключениями, в полном забросе в течение классического периода.

Наряду с этими изменениями объекта исследования совершается глубокий, принципиальный пересмотр и переработка самых основных понятий предшествующего периода.

Главным знаменем и ведущим принципом классического периода являлась рефлекторная дуга. В полной мере были оценены положительные методологические черты этого принципа: возможность исчерпывающего материалистического детерминизма и ясность постановки основной задачи — нахождения закономерных входно-выходных взаимоотношений организма с окружением, формулирования передаточных функций, наконец, четкой трактовки организма как высокоорганизованной реактивной машины.

Характерный для механистического материализма атомизм, стойкая уверенность, что целое есть всегда сумма своих составных частей и ничто более, легко позволяли мириться со многими упрощающими построениями, уже не выдерживающими в наши дни натиска новых фактов и современной методологии. Принятие атомистических воззрений позволяло рассматривать целостный организм как совокупность клеток (см концепции Вирхова), а его поведение и жизнедеятельность — как подобные же совокупности или цепи рефлексов. Воззрениям стихийных материалистов, недооценивавших решающе важный фактор целостности и системности организма и его функций, чуждо было понимание того, что рефлекс — не элемент действия, а элементарное действие, занимающее то или другое место в ранговом порядке сложности и значимости всех действий организма вообще.

Установленный к нашему времени всеобщий факт регуляции и контроля всех отправлении организма по принципу обратной связи заставляет

признать необходимость замены понятия рефлекторной дуги, не замкнутой на периферии, понятием рефлекторного кольца¹ с непрерывным соучаствующим потоком афферентной сигнализации контрольного или коррекционного значения. Судя по всему, даже в самых элементарных видах рефлекторных реакций организма имеет место кольцевое замыкание указанного типа, лишь ускользавшее от внимания вследствие краткости и элементарности этих реакций. Таким образом, приходится рассматривать рефлекторную дугу как первое приближение к фактической картине основного типа нервного процесса, приближение, прогрессивная роль которого (в свое время—очень значительная) к настоящему времени уже сыграна.

Важнейшее принципиальное значение перехода от структурной схемы дуги к схеме кольца не ограничивается признанием огромного значения контрольно-коррекционной афферентации² в каждом случае упорядоченного реагирования. На место атомизированной цепочки элементарных рефлексов, не связанных ничем, кроме последовательного порядка так называемого динамического стереотипа, современное физиологическое воззрение ставит непрерывный циклический процесс взаимодействия с переменчивыми условиями внешней или внутренней среды, разветвляющийся и продолжающийся как целостный акт вплоть до его завершения по существу.

Эта концепция позволяет сблизить между собой две обширные группы физиологических процессов — эффекторные и рецепторные. В этих последних сейчас отчетливо прослеживается кольцевой тип связи между эфферентными и афферентными нервными импульсами; именно кольцевой связью объясняется неизменно активный характер протекания всех видов рецепций. Внешние органы чувств всех модальностей оснащены мускулатурой, как гладкой, так и поперечнополосатой, участвующей в настроечно-приспособительных изменениях в этих органах. Сам процесс восприятия протекает не как пассивное запечатление (вдобавок с подчеркиванием необходимости повторов для усиления проторительного эффекта, как если бы здесь был применим закон Гальбота), а как активный от начала до конца процесс, о чем речь будет ниже.

Решающую важность кольцевой структуры процессов управления двигательными актами можно уже считать общеизвестной. Здесь следует

¹ Термин «рефлекторное кольцо» предложен, по-видимому, впервые автором (см. «Общие основы физиологии труда». М., Биомедгиз, 1935, стр. 447 и др.).

² Термин «обратная афферентация», предложенный П. К. Анохиным, мало удачен, так как никакой «необратной» афферентации (не центростремительного направления) вообще не существует.

упомануть только о том, что весь характер работы рецепторов и сенсорных синтезов при выполнении ими контрольно-коррекционных функций в кольцевом процессе управления двигательными актами оказался, по современным данным, глубоко отличным от функционирования этих же рецепторов в сигнально-пусковой роли¹. С позиций незамкнутой рефлекторной дуги могла быть замечена и принята в расчет только вторая из названных выше форм функционирования — восприятие безусловных или условных стимулов реагирования, что оставляло вне поля зрения глубоко важные формы работы рецепторики как неотрывного участника кольцевых процессов взаимодействия с внешним миром.

Уже упоминалось выше о вирховианской клеточной мозаике и трактовке сложных смысловых двигательных актов как цепной постройки из элементарных кирпичиков-рефлексов. Но этот же принцип мозаичизма использовался в рассматриваемом периоде еще гораздо более широко. Вслед за обнаружением в коре головного мозга первичных проекций сенсорных и сенсомоторных полей стала очевидной необходимость допустить рядом с этими проекциями, передающими мозгу всю текущую сенсорную информацию, области, в которые передаются и складываются впечатления для длительного хранения в памяти.

Эта необходимость привела к созданию очень детально разработанной принципиальной схемы работы мозга, названной клеточным центризмом (Корсаков, Павлов, Бехтерев и др.). В основе этой предположительной схемы лежали представления: а) о первоначально порожних клетках, каждая из которых в какие-то очередные моменты жизни заполнялась микроэлементами информации, прибывающей от органов чувств, и б) о проекции в эти клеточные поля сложных восприятий из внешнего мира по простейшим принципам поэлементного соотнесения множества элементов картины мира — к множеству клеток, воспринимающих и хранящих эти элементы. Эта концепция создавала возможность трактовать совокупность накопленного в течение жизни сенсорного опыта как коллекцию или совокупность запечатленных в клетках памяти элементов этого сенсорного опыта в их сигнальной роли (напомним, что это была единственная роль рецепторов, известная адептам рефлекторной дуги). Речевую систему, сложнейшую по своей структуре и глубокому своеобразием отношений между мыслью и словом, тот же мозаичизм вполне последовательно представлял как еще одну поэлементную коллекцию — словник, разнесенный по корковым клеткам того же типа, что и выше.

¹ См. Н. А. Бернштейн. Некоторые назревающие проблемы регуляции двигательных актов. «Вопросы психологии», 1957. № 6, стр. 70.

С этой интерпретацией речи (в частности, устной речи) как сигнальной системы связан, помимо основной методологической ошибки мозаичизма, еще один своеобразный недосмотр со стороны авторов этой системы. Генетически в развитии речевой функции имели место, по-видимому, два этапа: этап смысловых сигналов, звуковых или жестовых, и этап формирования знаковой системы как орудия отображения и осмысления мира.

Разновременность того и другого этапов в филогенезе лучше всего подтверждается, во-первых, многочисленными, быстро скапливающимися к настоящему времени фактами наличия смысловых сигналов обоих видов (звуки и жесты) у целого ряда животных, как позвоночных (млекопитающих и птиц), так и насекомых (пчел, кузнечиков и др.), и, во-вторых, особенно ярко — легкой дрессируемостью многих и отнюдь не «высших» животных на фонематические кодовые сигналы, действующие в этом случае совершенно так же, как и иные условные стимулы (свет, звонок, чесалка и т.п.). То, что отличает речевую систему человека от указанной очень древней способности животных, состоит как раз в том, что поднимает ее над сигнальным уровнем на высшую качественную ступень, не снимая, конечно, и ее сигнальной функции, но отводя последней лишь частный и наименее значимый участок всей системы.

Высокоразвитая речевая система человека аналогична математической алгебре (может быть, это и создало возможность ее дальнейшей формализации до «логической алгебры» Буля и др.). Эта аналогия не бросается сразу в глаза, по-видимому, только вследствие нашей привычки пользоваться речью. Для математической алгебры характерно наличие условных знаков-символов двух родов: номинативных символов (такими обычно служат буквы) и операторных символов, обозначающих функциональные отношения между первыми и те действия, которые надлежит над ними произвести.

Это же наблюдается и в структурной речи, свойственной человеку. Ее номинативные символы (имена, знаки качеств, причастные формы и т.д.) представляют собой условные фонемы или графемы, обозначающие различные содержания в составе мыслительного процесса. Наряду с ними имеет место богатая лексика операторов-слов или этимологических характеристик, создающих между первыми смысловые функциональные отношения и превращающих речь-словник в речь-орудие познания мира и действия в нем.

Сами эти слова-операторы (не, под, ведь, или, для, разве и т.д.) и этимологические операторы (связки, суффиксы, падежные формы и пр.) ничего не отображают и не несут никакой предметной нагрузки совершенно аналогично тому, как работают в алгебре знаки плюса, минуса, радикала и т.п. Но, может быть, величайшим открытием на заре человеческого разума

явились как раз именно эти операторы-слова и мысли, во всяком случае безмерно, более значительным, нежели создание слов-номинаторов, почему-то и до сих пор являющихся единственными представителями речи в словниках, с которыми оперируют адепты второй сигнальной системы.

Обрисованный выше недосмотр оказался жестоко отомщенным. В разработке принципов и устройств машинного перевода их авторам пришлось разрешать возникавшие задачи и трудности с первых же шагов почти на пустом месте, и теория второй сигнальной системы, имеющая за собой уже более 30 лет существования и разработки, так и не смогла прийти им на помощь. Не может быть сомнения в том, что верная действительности, подлинно физиологическая теория речи должна была бы, напротив, явиться основным фундаментом для создания и программирования машин-переводчиков.

Если не приходится сомневаться в том, что попытки физиологической интерпретации функций восприятия и речи как существенно-материальных мозговых процессов (попытки, облегченные при этом терпимостью к мозаицизму, подменяющему собой действительный синтез) были в течение всего классического периода прогрессивными, то к нашему времени необходим и, неизбежен их критический пересмотр. Для нас уже очевидна методологическая порочность мозаицизма во всех его проявлениях и формах, а напор новых фактов и материалов вынуждает сейчас рассматривать обрисованный круг представлений и гипотез о структуре мозговых процессов как сыгравший уже свою роль первого приближения в такой же мере, как и принцип рефлекторной дуги. Более подробный анализ мозаицизма и разбор современных представлений о принципах мозгового проектирования дан мною в другом месте¹.

Теперь своевременно будет обратиться к краткому обзору новых линий в развитии физиологии.

Физиология человека в условиях трудовой деятельности успела испытать важные изменения в прямой связи с эволюцией самих производственных форм. По мере безостановочного снижения удельного веса грубо физического труда прикладная физиология, начав с энергетики труда, биомеханики, охраны и гигиены физического труда и т.п., стала интенсивно переключаться на задачи интеллектуализированного труда в комплексе человека и машины, задачи рационализации управления и связи, распределения функций и т.д. — те именно задачи, для разработки которых столь ценным оказалось привлечение на помощь методов и всего

¹ См. Н. А. Бернштейн. Пути и задачи физиологии активности. «Вопросы философии», 1961, № 6.

круга понятий кибернетики. Важнейшим разделом современной прикладной психофизиологии, бесспорно, является также изучение труда в условиях, требующих от человека наивысшего напряжения его внимания, находчивости, воли и т.д. (космонавтика, скоростное летание, верхолазные, кессонные, саперные работы и др.).

В области теоретической физиологии сейчас могут быть названы и заслуживают рассмотрения две возникшие в самое последнее время ветви. Одна из них — физиология регуляций — была ровесницей и в известной мере родоначальницей кибернетики; вторая — физиология активности — возникает и оформляется на наших глазах. Обзор этих ветвей целесообразно начать с проблематики активности.

Чем более уяснялся принцип кольцевой регуляции жизненных процессов, тем в большей мере обнаруживалась и неотрывно связанная с ним активность. Не говоря уже о проявлениях и формах активности в самом прямом смысле — о двигательных функциях, — активная форма и структура всех без изъятия процессов рецепции и центральной переработки информации находятся сейчас вне сомнений. Наше время подтвердило полностью тезис Сеченова, что «мы слушаем, а не слышим, смотрим, а не только видим». Все главные виды наших периферических рецепторов оснащены эфферентной иннервацией и мускулатурой, на долю которых приходится как функции оптимальной настройки (в очень широком смысле), так и бесчисленные проявления поиска, наведения, прослеживания, гаптики и т.д. Сюда же относятся все виды и проявления «проверки через практику» как конкретных рецепций, так и всей наладки органов чувств, перекрестная проверка и синтезирование показаний разных рецепторов в порядке организации сенсорных синтезов. Наконец, активны сами процессы отбора необходимых минимумов информации с отсевом излишних или избыточных «шумов».

Может быть, наиболее ярко выявилось глубокое значение активных форм функционирования в области центральных мозговых процессов, связанных с построением в мозгу упорядоченной и динамичной модели внешнего мира. В то время как воззрения клеточного центризма были неотделимы от представлений о пассивном характере приема и запечатления поступающей в мозг сенсорной информации предназначенными для этого изначально-порожними клетками, современная психофизиологическая мысль склоняется к пониманию познавательного процесса как активного моделирования, принципиально отличного от механистического соотнесения «элемент к элементу». Активными являются и выбор принципа упорядочения воспринимаемых множеств, и внутренняя классификация выделяемых подмножеств, и управление гаптикой в самом широком смысле

этого понятия, т.е. теми процессами активной рецепции, о которых было сказано выше.

Но корни принципа активности живых организмов уходят гораздо глубже, придавая ему черты важнейшего общебиологического фактора. Уместно будет начать с двигательных функций.

Двигательные отправления — это основная группа процессов, где организм не только и не просто взаимодействует с окружающим миром, но и активно воздействует на него, изменяя его в нужном ему отношении. Из этого положения вытекает следующее.

Прежде всего двигательные действия обуславливаются ситуацией, но не определяются ею. В частности, если мысленно расположить все действия в ряд по признаку значимости для них пускового раздражителя, то в таком ряду можно будет усмотреть всю непрерывную градацию от действий, в данный момент полностью детерминированных раздражителем (рефлексы, врожденные и условные), через акты, запускаемые в ход раздражителем, но программированные ранее и независимо от него (действия по пусковым командам, по предварительной инструкции, нападения из засады и т.д.), и до действий, вообще не нуждающихся в пусковом раздражителе. Легко убедиться, что описанная градация не имеет ничего общего с градацией по жизненной значимости совершаемых действий, и как раз немалое количество наиболее значимых действий найдется на фланге «спонтанных» актов без прямых пусковых стимулов.

Если проанализировать, на чем базируется формирование двигательных действий, то окажется, что каждый значимый акт представляет собой решение (или попытку решения) определенной задачи действия. Но задача действия, иными словами — результат, которого организм стремится достигнуть, есть нечто такое, что должно стать, но чего еще нет. Таким образом, задача действия есть закодированное так или иначе в мозгу отображение или модель потребного будущего. Очевидно, что жизненно полезное или значимое действие не может быть ни запрограммировано, ни осуществлено, если мозг не создал для этого направляющей предпосылки в виде названной сейчас модели потребного будущего.

Судя по всему, мы имеем перед собой два связанных процесса. Один из них есть вероятностное прогнозирование по воспринимаемой текущей ситуации, своего рода экстраполяция на некоторый отрезок времени вперед. Фактические материалы и наблюдения, указывающие на такие процессы, уже накапливаются у нейрофизиологов и у клиницистов¹.

¹ Группа так называемых ориентировочных реакций (конечно, не рефлексов!) представляет собой класс реакций на расхождение или рассогласование фактической рецепции с текущим вероятностным прогнозом (реакция на низкую вероятность).

Наряду же с этой вероятностной экстраполяцией хода окружающих событий (каким он был бы при условии «невмешательства») совершается процесс программирования действия, долженствующего привести к реализации потребного будущего, о модели которого было сказано выше. Такое программирование простого или цепного действия выглядит уже как своего рода интерполяция между наличной ситуацией и тем, какой она должна стать в интересах данного индивида. Не буду задерживаться здесь на том, что и программирование, и осуществление действия совершаются обычно в условиях «жизненного цейтнота» (т.е. внутреннего конфликта между срочностью и точностью прогностики) и на том вполне очевидном обстоятельстве, что фактическое осуществление действия обязательно протекает как борьба или активное преодоление изменчивых внешних препятствий, каковы бы они ни были; неподвластные внешние силы сопротивления, противодействие противника, неожиданности и т.п.

В этой связи заслуживает внимания то, что признание реальности кодированной в мозгу модели или экстраполята вероятного будущего и отображения в мозгу задач действия как формул потребного будущего создает возможность строго материалистической трактовки таких понятий, как целенаправленность, целесообразность и т.п.

Действительно, в предшествующем периоде развития научной физиологии такие установленные к нашему времени факты, как кодированные отображения информационного материала, первичные или рекомбинированные мозгом, были еще совершенно неизвестны. Поэтому большинство таких понятий, как отвечающая потребностям организма задача или цель действия, т.е. код программы, направленный к оптимизации тех или иных условий существования организма и т.п., считалось неотъемлемой принадлежностью психологии, высоко развитого сознания, обладающего возможностью формулирования для себя очередных задач и целей действия. Материалистическая платформа стояла, таким образом, перед альтернативой: либо допустить наличие психики и сознания у дождевого червя или дерева (это, разумеется, отвергалось как абсурд), либо считать, что ни одно из понятий обсуждаемой категории вообще неприложимо к преобладающему множеству организмов. Свободно чувствовал себя в этой области только идеалистический витализм, ничем не обоснованные гипотезы которого позволяли идти сколько угодно далеко в направлении финализма.

Именно обнаружение возможности построения и комбинирования организмом материальных кодов, отображающих все бесчисленные формы активности и экстраполяции предстоящего, начиная с тропизмов и кончая наиболее сложными формами направленного воздействия на окружение,

позволяет нам теперь говорить о целенаправленности, целеустремленности и т.д. любого организма, начиная, может быть, уже с протистов, нимало не рискуя соскользнуть к финализму. Накапливаемый сейчас фактический материал из области сравнительной физиологии говорит о таком не предполагавшемся прежде разнообразии материальных субстратов регулирующих кодов и самих форм и принципов кодирования, в котором осознаваемые и вербализованные психические коды человеческого мозга занимают лишь место одной из частных, хотя и наиболее высокоразвитых форм.

К разбираемому здесь в самых кратких чертах вопросу о моделировании будущего и программировании действия, направленного к оптимизации этого будущего, уместно будет присоединить два замечания.

Стоя на позициях монополии рефлекторной дуги и ограничивая круг своего внимания строго реактивными процессами, физиология классического периода могла путем очень небольшой схематизации рассматривать эффекторные процессы организма как строго (и в большинстве случаев — однозначно) детерминированные сигналами, прибывающими по афферентной полудуге. Сейчас, когда факты вынуждают нас рассматривать все проявления взаимодействия организма с миром, а тем более активного воздействия на него, как циклические процессы, организованные по принципу рефлекторного кольца, оценка имеющихся здесь соотношений меняется по самому существу. В отличие от разомкнутой дуги кольцевой процесс одинаково легко может быть начат с любого пункта кольца. Это объединяет в один общий класс реактивные в старом смысле (т.е. начинающиеся с афферентного полукольца) и так называемые «спонтанные» (т.е. начинающиеся с эффекторного полукольца) процессы взаимодействия.

Как уже здесь упомянуто, в целом ряде отношений именно этот последний подкласс включает в себя наиболее жизненно важные проявления активности. Существенно то, что во всех подобных случаях организм не просто реагирует на ситуацию или сигнально-значимый элемент, а сталкивается с ситуацией, динамически переменчивой, а поэтому ставящей его перед необходимостью вероятностного прогноза, а затем выбора.

Еще точнее будет сказать, что реакцией организма и его верховных управляющих систем на ситуацию является не действие, а принятие решения о действии; глубокая разница между тем и другим все яснее вырисовывается в современной физиологии активности.

Позволяя себе метафору, можно сказать, что организм все время ведет игру с окружающей его природой — игру, правила которой не определены, а ходы, «задуманные» противником, неизвестны. Эта особенность реально имеющихся отношений существенно отличает живой организм от реактивной машины любой степени точности и сложности. Как мы будем от-

мечать в дальнейшем, реактивные механизмы играют немаловажную роль как технические компоненты приспособительной регуляции действий, но никогда — как прямые определители поведения.

Может быть, именно по этой причине нетрудно построить реактивную модель, способную осуществлять и формировать как безусловные, так и условные рефлексы (например, модели Уолтера и т.п.). Но создание модели, осуществляющей (или улучшающей) выбор оптимального поведения в условиях чисто вероятностной информации о «ходах противника», представляет трудности, которые кибернетика едва начала преодолевать.

Обрисованные сейчас новые представления о принципах активного поведения переключаются, с одной стороны, с данными о физиологических механизмах автоматизации и деавтоматизации двигательных актов¹, а с другой — с новыми математическими моделями иерархических координационных отношений, предложенными И. Гельфандом, В. Гурфинкелем и М. Цетлиным². Есть много оснований считать, что вышележащий управляющий прибор центральной нервной системы не командует детально всем процессом движения данного сегмента периферического двигательного аппарата, а лишь определяет ту «матрицу» управления и корригирования, по которой подчиненный ему «центр» работает уже со значительной долей самостоятельности.

При этой ситуации, принципы которой хорошо известны из общей теории автоматического регулирования, на долю вышележащего «центра» приходится решение таких задач, как назначение определенного режима в самом широком смысле этого термина и контроль, переключение и адаптивное его к определяющим чертам ситуации и решаемой задачи. В аварийных случаях, когда низовой сегментарный «центр» подает в восходящую афферентную линию своего рода аларм-сигнал о непосильности для него справиться с создавшимся положением своими средствами, в рамках доступных ему матричных вариантов, возглавляющий аппарат существенно перепрограммирует всю стратегию совершаемого действия.

По давно установленному общему правилу, от движения с многоуровневой иерархией управления и корригирования в поле сознания попадают только афферентные сигналы и вызываемые ими коррекционные команды

¹ См. Н. А. Бернштейн. О построении движения. М., Медгиз, 1947, стр. 183; его же. Очередные проблемы физиологии активности. Сб. «Проблемы кибернетики», 1961, вып. 6, стр. 101.

² См. И. Гельфанд, В. Гурфинкель, М. Цетлин. О тактиках управления сложными системами в связи с физиологией. Сб. «Биологические аспекты кибернетики». М., 1962, стр. 66; В. Варшавский, И. Воронцова, М. Цетлин. Обучение стохастических автоматов. Там же, стр. 192.

самого верхнего, «ведущего» уровня данного движения. Постепенная передача координационных коррекций технического значения на управление нижележащих, подчиненных координационных уровней и соответственных сенсорных синтезов, сопровождаемая уходом этих коррекций из поля сознания, и есть давно и хорошо известное явление автоматизации.

Оно, как и противоположное ему явление деавтоматизации в результате тех или иных дезорганизующих внешних или внутренних причин, оба до сих пор знакомые физиологам только по их описанию, находят теперь для себя модель в форме обрисованной выше иерархии из низового прибора, обладающего значительной автономностью в ведении «игры», и вышестоящего командного поста, руководящего им. С такой моделью, естественно, согласуется и то, что кольцевые процессы низового матричного управления так и не достигают высокостоящих уровней осознания именно потому, что им предоставлена большая степень самостоятельности. Этим низовым приборам, очевидно, доступно и принятие срочных тактических решений в ситуациях, не оставляющих времени на «запрос» верховных центров по соответствующему межуровневому координационному кольцу.

Ценность и прогрессивность замысла обсуждаемой модели — не в догадке, что мерилom и «штрафом» для активности низового устройства является именно притекающая к нему афферентация (что для физиолога по меньшей мере спорно), а в формулировке самой модели, хорошо доступной для опытной проверки и существенно приближающей нас к уяснению координационных механизмов активного двигательного поведения организма.

Второе замечание, которое уместно здесь сделать, относится к вопросу о чисто физиологических, объективных проявлениях того «моделирования будущего», которое все более выявляется как необходимая предпосылка целенаправленной активности. Нужно сказать, что значительное количество наблюдений, относящихся еще к классическому периоду физиологии и принадлежащих, как тогда казалось, к очень разнородным областям явлений, в настоящее время начинает складываться в единую стройную систему центральных управляющих процессов. Прежде всего в нее входят настроечные процессы возбудимости и синаптической проводимости, наблюдавшиеся еще Шеррингтоном как «центрально-возбудительные» и «центрально-тормозные» спинальные состояния, которые ставились им в несомненную связь с реципрокной регуляцией мышц-антагонистов.

Принимая часть за целое, Ляпик видел в явлениях центрально-регулируемого синхронизма и гетерохронизма нервно-мышечных пластинок своего рода предваряющий «перевод стрелок» для правильного избирательного заадресования эффекторных импульсов к мышцам.

Ухтомский и его продолжатели усматривали аналогичную установочно-регуляционную роль за нервными ритмами, их усвоением и настройкой. Наконец, в обширном круге явлений нервно-мышечного тонуса нельзя было не заметить проявлений своего рода предварительной, опережающей настройки мускулатуры.

С другой стороны, усовершенствование техники электромио- и электронейрографии все более расширяет круг экспериментов, вскрывающих перед нами нервно-мышечную динамику так называемой установки, которая снова есть не что иное, как усмотренные в новом аспекте и посредством иной техники все те же центрально-управляемые процессы преднастройки нервно-мышечной периферии. Все указывает на то, что в каждом двигательном акте, протекающем в форме непрерывного кольцевого процесса, афферентная информация об этом акте мобилизует в то же время центральные настроечные системы, функционирование которых как бы опережает фактическое выполнение каждой фазы движения на какой-то отрезок времени вперед.

В настоящее время биология пришла к понятиям организма, во многих отношениях глубоко отличным от формулировок классического периода, трактовавших организм как реактивно-уравновешивающуюся или саморегулирующуюся систему. Организм теперь рассматривается как организация, характеризующаяся следующими двумя главными, определяющими свойствами.

Во-первых, это — организация, сохраняющая свою системную тождественность сама с собой, несмотря на непрерывный поток как энергии, так и вещества, субстрата, проходящих через нее. Несмотря на то, что ни один индивидуальный атом в организме не задерживается в составе его клеток дольше сравнительно короткого времени (за малыми исключениями типа, например, костных кальцитов), организм остается сегодня тем же, чем был вчера, и его жизнедеятельность сегодня обуславливается всей его предшествующей жизнью.

Во-вторых, при всем этом организм на всех ступенях и этапах своего существования непрерывно направленно изменяется. Эта направленность онтогенетической эволюции неоспоримо доказывается хотя бы тем, что тысяча представителей одного животного или растительного вида развивается в особой, одинаковых по всем своим основным или определяющим признакам, несмотря на иногда весьма резкую неодинаковость внешних условий жизни у разных индивидов. Что касается эмбриогенеза, то сегодня уже известны и носители наследственных признаков, и их химическая структура, и кодовый алфавит, при посредстве которых организм, уже начиная со стадии оплодотворенного яйца, обладает закодированной

моделью будущего своего развития и оформления и закодированной же программой последовательных ступеней этого развития.

Следует внести ясность, что хромозомный «шаблон» — определитель будущности данной особи — безусловно материален в том смысле, что применительно к роду в целом и прямым предкам особи, в частности, он, конечно, берет начало из всей прошлой истории и ею обусловлен (мы не касаемся здесь вопроса о возможном происхождении мутаций). Но важнейший и своеобразный биологический факт заключается не в этом, вполне понятном «программировании предками будущего для очередного потомка», а в том динамическом начале (в конце концов, вероятно, тоже как-то закодированном и обладающем своим вещественным субстратом-носителем в клетке), которое создает у особи активное, антиэнтропическое, преодолевающее стремление к реализации этой закодированной модели.

Отмеченная выше тождественность результатов морфогенетического развития на фоне изменчивых условий говорит о том, что организм активно преодолевает возможные и неизбежные внешние препятствия на пути программы своего морфогенеза. Экспериментальные факты повреждений и частичных ампутаций (например, почек конечностей) в эмбриогенезе, — ампутаций, не мешающих этим органам развиваться в полноценную конечность; факты анатомических, а еще того более — функциональных регенераций; клинический материал — все эти данные говорят о том, что организм в целом и, что весьма возможно, каждая его клетка активно борются за свое выживание, развитие и размножение. Процесс жизни есть не «уравновешивание с окружающей средой», как понимали мыслители периода классического механицизма¹, а преодоление этой среды, направленное при этом не на сохранение статуса или гомеостаза, а на движение в направлении родовой программы развития и самообеспечения.

Таким образом, то, что в частном случае двигательных функций животных организмов выглядит как моделирование потребного будущего в форме задачи действия и как реализация интерполированной программы этого действия в порядке преодоления внешних препятствий и активной битвы за результат, оказывается проявлением общего, глубоко проникающего всю биологию, принципа активности. Этот принцип проявляет себя как в процессах роста и развития животных и растений, так и в их борьбе за существование.

Здесь возникает один чрезвычайно интересный вопрос, объемлющий, по-видимому, всю область биологии. Он находится в тесной связи как

¹ Такое уравновешивание обрекало бы каждую особь на полную зависимость от среды и ее изменений, и о программном морфогенезе с удержанием стойких признаков вида нельзя было бы и думать.

с теоретическими принципами биологического моделирования, так и с описанными выше фактами направленной эволюции индивида.

Начну с ряда параллелей между внешне чрезвычайно разнородными группами процессов, чтобы сформулировать, в чем состоит их общность.

На дубе или клене имеется несколько тысяч листьев. Среди них заведомо не найдется и двух взаимоконгруэнтных: всевозможные метрические признаки их дают широкие вариационные ряды. И тем не менее мы можем сказать, что принадлежность каждого листа к дубу или клену не вызывает никаких сомнений по каким-то признакам, которые, волей-неволей, нужно назвать существенными.

Человек совершает повторные навыковые движения. Он, например, может исписать десятки страниц, сто раз поставить свою подпись, писать пером на бумаге или крупно мелом на вертикальной доске, писать (как показали опыты) с помощью ног или рта, — и при этом мы не найдем и пары конгруэнтных начертаний. А между тем во всех этих случаях сохраняется все время индивидуальный почерк. Человеку беспрепятственно выдают его деньги из сберкассы по подписи, хотя она наверняка не конгруэнтна ни с кассовым образчиком, ни со своими повторениями. Хроноциклограммы всевозможных циклических навыковых движений подтверждают то же в отношении траекторий отдельных циклов. Наше интуитивное восприятие, не подкрепляемое точной формулировкой, создало такие аналогичные почерку понятия, как походка, туше (на фортепиано), тембр голоса, выговор или акцент речи и т.п.

Ко всем этим случаям применимо то же разграничение: существенное сходство (т.е. равенство) по одной части имеющихся признаков при отсутствии конгруэнтности, и размещаемость — по другой, обычно метрической, части признаков в вариационные ряды. Сюда же принадлежат узнавание конфигураций, прежде всего букв, во всех размерах, шрифтах и т.д. (любопытно, что одинаково легко — белых на черном и черных на белом фоне); узнавание человека в лицо при шести степенях свободы проективных изменений его изображения на сетчатке; узнавание в данном экземпляре животного представителя того или иного вида или класса и т.д. Несколько последних примеров относится к тому, что психологи давно обозначили термином «обобщение». Но этим еще не объяснены ни механизмы этого процесса (относящегося, несомненно, к категории процессов мозгового моделирования), ни, главное, те принципы, которыми руководствуется мозг при разбивке признаков объекта по обоим контрастирующим группам.

Представляются очень перспективными использование и дальнейшая разработка математической идеи, выдвинутой И.М. Гельфандом и М.Л. Цетлиным и заключающейся в приложении к разбираемым здесь вопросам класса функций большого количества переменных, обозначаемых авторами как «хорошо

организованные функции»¹. Функция хорошо организована, если, во-первых, можно разгруппировать ее аргументы на «существенные» и «несущественные» переменные и если, во-вторых, все аргументы стойко сохраняют свою принадлежность к тому или другому подклассу. Авторы не дают строгого определения обоих классов, ограничиваясь выразительной характеристикой: несущественные переменные могут обуславливать резкие изменения и скачки функции, крутые градиенты значений и т.д. В то же время они, оправдывая данное им название, не оказывают определяющего действия на протекание функции в целом и на больших интервалах, на расположение экстремумов и т.д.

Влияние существенных переменных на небольших интервалах может в значительной степени маскироваться вмешательством сильно вариативного эффекта несущественных переменных, но в итоговом результате форма и протекание функции определяются прежде всего существенными переменными. По-видимому, принадлежность аргументов к тому или другому подклассу определяется не столько тем, какой конкретный физико-химический или иной процесс лежит в основе каждого из них, сколько самой формой функциональной связи с описываемой функцией, в которой находится с нею данный аргумент.

Чрезвычайно заманчиво обратиться к описанному классу функций, представив каждую сторону развития и жизнедеятельности живых организмов посредством такой функции многих переменных, где тот и другой их подкласс прямо накладываются на поведение соответственно существенных и несущественных признаков, как они были подразделены выше. Тогда, например, применительно к морфогенезу того или иного листа, цветка и т.п. можно будет сказать, что определяющие видовые явно закодированные в хромосомах черты реализуются как продукт существенных (в смысле Гельфанда—Цетлина) переменных, а метрические признаки, дающие каждый вариационные ряды, — как результат влияния несущественных переменных. То же было бы уместно по отношению к координации движений, например, к циклическим навыковым актам типа письма, о разгруппировке характеристик которых уже говорилось выше. То, что совершенно аналогичная организация определяющих переменных имеет место в актах восприятия, прежде всего в восприятии формы, а далее и во всевозможных актах обобщения, указывает на то, что и мозговому активному моделированию в процессах восприятия и отражения мира свойственна опять-таки природа этих замечательных функций.

Уже первые попытки приложения этих функций к изображению механизмов жизнедеятельности позволяют прибавить важные и перспективные

¹ См. И. М. Гельфанд и М. Л. Цетлин. О некоторых способах управления сложнейшими системами. «Успехи математических наук», 1962, т. 17, вып. 1.

черты к их имеющейся характеристике. Выше уже отмечалось, как по-разному относится организм к воздействию на него окружающей среды по линиям его существенных и несущественных переменных. По линии этих последних он реактивен и, так сказать, «уступчиво» приспособите-лен: один лист дерева получает больше питания, чем другой, — он вырастает крупнее, чем второй; находится в лучших условиях освещения — в нем вырабатывается более высокая концентрация хлорофилла и т.п.

Но организм не уступает без применения к нему очень глубокого на-силлия каких-либо существенных свойств структуры и формы (вроде тех, которые, например, определяют диаграмму цветка); не отступает он и от отрицательного геотропизма, т.е. от борьбы при всех условиях за вертикальное направление ствола или стебля. Таким образом, можно сказать, что организм реактивен по отношению к своим несущественным переменным, но в высокой степени нереактивен или активен по отношению к существенным.

Совершенно ту же картину дает нам структурный анализ двигательных актов и их координации. Как показали в свое время наши исследования, координационное управление каждым целостным смысловым двигательным актом строится, как уже упоминалось выше, по типу иерархической, многоярусной системы колец управления и корригирования. Необходимость такой многоэтажности вызывается как весьма большим количеством степеней свободы у наших многозвенных органов движения, так и огромным числом мышечных единиц, активно участвующих в обеспечении позы и выполнении требуемого телодвижения.

К этому нужно еще добавить привходящие факты упругой растяжимости мышц и сложной реактивной динамики органов движения и затем, конечно, всю совокупность тех неподвластных, а поэтому и непредусмотримых внешних сил сопротивления, целесообразное преодоление которых и составляет самую сущность огромного большинства наших произвольных двигательных актов. В процессе координационного управления движением многочисленные виды и качества кольцевых коррекций распределяются между уровневыми системами мозга, с одной стороны, сообразно составам и качествам присущих им сенсорных синтезов, с другой — явно по смысловому удельному весу и значимости тех или других коррекций для полноценной реализации программы движения.

Строгая стандартность формы и метрики циклических навыковых движений никогда не реализуется сама собой и никогда не бывает самоцелью¹. Ее приходится специально вырабатывать, и мозг идет на это

¹ См. Н. А. Бернштейн. О построении движений; его же. Очередные проблемы физиологии активности.

только в тех случаях или в тех деталях или звеньях двигательного акта, где такая стандартность существенно необходима. Отсюда и получается та метрическая вариативность движений, о которой было уже сказано выше. Но, с обсуждаемой здесь точки зрения, обращает на себя внимание то, что «низовые» коррекции, т.е. коррекции чисто технического характера и второстепенного смыслового значения, как раз 1) наблюдаются в тех деталях и сторонах движения, где имеет место наибольшая вариативность, и 2) носят ясно выраженный реактивный характер.

Можно сказать, что аппарат управления движениями проявляет две различные координационные тактики: по отношению к второстепенным и техническим рассогласованиям и помехам он действует реактивно-приспособительно, не боясь вариативности; по отношению же к программно существенным сторонам управления — бьется за требуемый результат во что бы то ни стало, активно преодолевая препятствия и, если нужно, перепрограммируясь на ходу и т.д.

Другого назревающего в настоящее время вопроса, также тесно связанного с областью «хорошо организованных» функций Гельфанда — Цетлина, коснемся здесь лишь в кратких словах. Это — вопрос о взаимоотношениях биологических систем с понятием или классом дискретного числа. Те признаки, аргументы, коррекционные функции и т.д., которые принадлежат к разряду «несущественных», явно континуальны и образуют соответствующие этому вариационные ряды. А как обстоит дело с существенными переменными? В частности, допустимо ли поставить по отношению к наследственно передаваемым, закодированным в хромосомах чертам вопрос: до каких пределов «умеет» обсуждаемый аппарат считать?

Этот вопрос звучит в настоящее время в самых разнообразных работах. Судя, например, по анатомическим и сравнительно анатомическим данным, такой уверенный «счет» продолжается примерно до двух в шестой степени (число зубов, позвонков, цитоархитектонических полей мозга, элементов боковой линии рыбы и т.д.). Безусловно немислимо, чтобы в геномном аппарате было закодировано, например, число волос на голове или число клеток в коре головного мозга.

Принципиально наибольший интерес представляют, несомненно, пограничные области числового ряда. Цито- и миелоархитектонические поля коры мозга человека «исчислены» и стандартны. Но до каких пределов простирается эта исчисленность и с какого момента начинается рандомизация числа клеток и плана их синаптических взаимосвязей? Исчислены или рандомны количества гломерул в почке, ганглионных островков, пачиниевых телец, мышечных единиц в той или другой мышце? Как ведет

себя аппарат наследственной передачи, когда дело доходит до чисел порядка сотен, т.е. где граница его информационной емкости?

С точки зрения обсуждаемой здесь темы, важно следующее. Информемкость генного аппарата, разумеется, не наложена на него как-либо извне, а выражает собой эволюционно-определившуюся необходимость данного вида животного, растения, клетки и т.д. Поэтому анализ названных пограничных отношений и области перехода от необходимого к случайному есть в то же время анализ того распределения между существенными и несущественными аргументами, которое соответствует эволюционноопределившейся потребности организма. В то же время — это анализ того, где и как проводится организмом граница между активными и реактивными процессами, числом и множественностью (счетной или континуальной), наконец, между областями приложения теории хорошо организованных функций и теории случайных процессов.

В заключение нужно остановиться еще на одном принципиально важном вопросе.

С самого зарождения научной кибернетики, как только выяснилась близость между назревшими ключевыми проблемами физиологии и теми задачами, которые обусловили выделение кибернетики в самостоятельную науку, началось взаимное оплодотворение обеих наук в отношении и фактических данных, и теоретических формулировок, и обобщений. Весь период, протекший от публикации первого труда Винера до наших дней, пронизан поиском и использованием аналогий между живыми и искусственными системами, — аналогий, помогавших физиологам в осмыслении системных взаимных отношений организма, а техникам дававших в руки новые и ценные идеи по построению автоматов.

Независимо от того, окончился или нет этот «медовый месяц» выявления и практического применения аналогий и сходств, в литературе самого последнего времени начинают все чаще проскальзывать и вопросы противоположного направления: существует ли все-таки принципиальная разница между живыми и неживыми системами и если существует, то где пролегал тот водораздел, который образует границу между теми и другими?

Разумеется, речь идет здесь не о тривиальных различиях, вроде различий стройматериала или количественных различиях, делающих для современной техники невыносимым подражание 15 млрд. клеток головного мозга. В то же время неоспоримо, что искомое различие должно при всех условиях формулироваться на основе строгого материалистического единства законов, которым в одинаковой степени подчинена как живая, так и неживая материя.

Становится чрезвычайно правдоподобным представление, что искомым водораздел или прямо заключается в том общебиологическом принципе активности, или во всяком случае включает этот принцип как важнейшую составную часть. Это суждение может подкрепляться тем, что как раз активные формы морфогенеза, развития, индивидуального поведения, прогностики будущего и т.д. всего недоступнее для моделирования, хотя бы мысленного. Оно может подкрепляться также и той всеобщностью, с которой этот принцип направленной, преодолевающей активности проявляется во всех формах жизнедеятельности.

Прежде, однако, чем решиться выдвинуть описанную концепцию биологической активности в качестве рабочей гипотезы, необходимо ответить, пусть даже пока в самых общих чертах, на вопрос, допустимо ли говорить о какой-либо глубокой специфике процессов жизни, не сходя со строго материалистических позиций и не соскальзывая при этом на рельсы одной из форм витализма, хотя бы и замаскированного.

Начиная с XVIII в., когда впервые твердо определил свои научные позиции воинствующий механистический материализм, перед естествознанием встала альтернатива, казавшаяся в ту пору (и в течение долгого времени позже) неизбежной. С одной стороны, контраст между проявлениями жизнедеятельности и теми процессами, которые тогда были известны в неживой природе, был настолько разителен, что было необходимо искать для него объяснений и обоснований. С другой же стороны, инвентарь знаний о глубинных физико-химических процессах, а тем более — биофизических и биохимических закономерностях на молекулярном уровне был еще крайне скудным. Поэтому получалось так: те, кто отходил в лагерь идеализма и легко допускал идеи о всякого рода нематериальных факторах и сущностях, не находя в багаже физико-химических знаний ничего пригодного для объяснения специфики жизни, выдвигали для этого объяснения нематериальную жизненную силу, что их вполне устраивало. Последовательным же материалистам не оставалось ничего иного, как вообще отвергнуть всякие поиски жизненной специфики, поскольку физика и химия того периода ничего не могли подсказать.

Это традиционное представление о неправомерности самой постановки вопроса относительно специфичности жизненных процессов в строго материальном плане и истолковании сохраняется и до нашего времени, когда выяснилось и скопилось огромное количество новых сведений и фактов. Между тем, эти новые факты позволяют рассматривать многие процессы (в первую очередь, на клеточном и молекулярном уровнях) так, как немислимо было и думать в предшествующем столетии; они же дают возможность поставить на очередь вопрос о пересмотре традиционного

взгляда. Ни рамки настоящего сообщения, ни компетенция автора не позволяют предпринять сколько-нибудь подробное освещение вопроса; но следует хотя бы показать, о чем здесь может идти речь.

Прежде всего в прошлом имелись только самые зачаточные сведения о ферментных процессах. Сейчас выясняются все более широкие границы для этих процессов. Выясняются роль ферментов в направляемом синтезе высокомолекулярных соединений и редупликации этих соединений; гигантское разнообразие и своеобразие хемоавтотрофных микроорганизмов, при участии которых интенсивно осуществляются процессы, которые в лабораторных условиях потребовали бы огромных температур и давлений и т.д. В прошедшем столетии не было ничего известно о стохастических процессах (если не считать кинетической теории газов и растворов). По линии 2-го закона термодинамики были известны и изучены такие явления в области микромасштабов, как флуктуации (Смолуховский), броуновское движение (Эйнштейн) и т.п. Однако все еще нельзя было ничего сказать об антиэнтропических процессах в открытых системах, условиях их протекания и управляемости, в то время как сейчас каждый год прибавляет в этом направлении новые факты.

О биологических кодах и их роли в структурировании и самоорганизации было уже сказано выше. Мы не будем продолжать этого перечисления; его целью было лишь показать, что к нашему времени накоплены обширные системы новых фактов. Среди них исследовательская мысль без всякой опасности впасть в идеализм, и лишь твердо памятуя о диалектическом принципе перехода количества в новые качества, несомненно, найдет точки опоры для того, чтобы применить вновь узнанные закономерности биохимии, биофизики и новых ветвей математики к безоговорочно материалистическому описанию специфических проявлений жизни.

Значительно легче отпарировать возражение о том, что, ставя на место рефлекторной дуги (где реакция закономерно отвечает на стимул) замкнутое рефлекторное кольцо, которое может начать функционировать с любого пункта своей блок-схемы, мы — сторонники физиологии активности — отходим от детерминизма и вместе с тем от той ясной материалистической трактовки явлений, которая обеспечивается рефлекторной теорией и признанием за рефлексом роли основного строительного элемента жизни и поведения.

Как уже отмечалось выше, «рефлекс по схеме дуги» — лишь приближенно описанный процесс, который самим накоплением фактов о регуляции и координации должен был претерпеть замену его схемы более точной и верной схемой кольцевого, непрерывного процесса. Далее выяснилось, что все рецепторные процессы протекают активно, начинаясь с отбора и поис-

ка информации и сопровождаясь процессами настройки, прослеживания, гаптики и т.д. Соответственно этому и процесс образования и закрепления условной связи между афферентными сигналами пришлось рассматривать не как пассивное запечатление, требующее повторений для лучшего проторения связи, а как последовательность актов 1) вычленения прививаемого условного стимула из всего афферентного потока извне, 2) установления мозгом животного апостериорной вероятности предьявляемого сочетания, 3) закрепления ассоциации в «долговременной памяти» мозга и т.д.

После всех этих неизбежных уточнений стало выясняться все более и более, что рефлекс, т.е. детерминированная кольцевая реакция, вызванная воздействием раздражителя, есть, бесспорно, реально существующая и наблюдающаяся в разнообразнейших видах форма проявления жизнедеятельности. Но эта форма явно не единственная, и во всяком случае она не оставляет возможности конструировать из рефлексов сложные формы активного поведения.

Конечно, форма поведения реактивного автомата более явственно детерминистична, чем поведение организма, все время вынуждаемого к срочному активному выбору в стохастических условиях. Но освобождение организма от роли реактивного автомата, существующего «на поводе» у падающих на него раздражений, ни в какой мере не означает отхода от научного детерминизма в широком смысле в область непознаваемого, так же и как переход от описания явления через однозначные функции к его описанию с помощью теории вероятностей не может означать ухода с позиций строгого естествознания.

Наука нашего времени накопила более чем достаточно фактов и знаний, чтобы безбоязненно приступить к созданию нового, углубленного представления вместо того первого приближения, которое оставили нам в наследство корифеи науки классического периода. Теперь необходимо, твердо и неукоснительно, придерживаясь принципа единства мира и его законов, указать и изучить тот водораздел, который пока еще совершенно не переходим для технической или моделирующей мысли, но который в то же время совершенно четко отражает собой то, в чем заключается разница между живыми и искусственными системами. Можно предположить, что обсуждаемые в этой статье черты и свойства физиологии активности смогут вылиться в дальнейшем в какую-то существенную сторону или часть искомой характеристики. Это во всяком случае облегчит путь технических изобретательских изысканий того, как приблизиться к преодолению этого водораздела между биологическими и техническими науками.

О ПЕРСПЕКТИВАХ МАТЕМАТИКИ В БИОКИБЕРНЕТИКЕ

Эта книга ставит своей задачей восполнить важный пробел, имеющий место в современной биокрибернетической литературе. В наши дни биокрибернетика интенсивно развивается; в ней возникают все новые направления и ветви (бионика, эвристика, биология активности и др.). Во всех этих отраслях важнейшее место занимает математика, причем не столько ее «классические» разделы, сколько вновь разрабатываемые дисциплины, стремящиеся стать подходящими ключами к замкам и запорам биологической области, не поддававшимся до самого последнего времени никаким усилиям отомкнуть их. Если исключить немногие узкоспециальные отрасли физиологии (оптика, акустика, артериальное кровообращение) и приживавшиеся то здесь, то там без принципиального обоснования вычислительные приемы вариационной статистики, то действительно до самого недавнего времени биологическая проблематика не поддавалась никаким усилиям поставить ее на математические рельсы.

В чем следует видеть причину того перелома, который характеризует собой немногие последние десятилетия? Как назвать ту «иерихонскую трубу», которая смогла, наконец, произвести широкий пролом в стенах неприступной биологической твердыни? Чаше всего в объяснение приводятся два фактора (сами по себе бесспорные): огромный качественный рост технических возможностей обнаружения и точной регистрации жизненных процессов и их субстратов и возникновение не менее замечательного арсенала машинной вычислительной техники, что позволило находить числовые решения таких уравнений и систем, к которым до этого времени нельзя было и приступить.

Хотя все это и справедливо, но думается, что существенная причина создания этой бреши состоит в другом. Ведь наши предшественники, физиологи XIX столетия, только нам представляются обделенным судь-

бой, тогда как с их точки зрения каждый очередной момент их бурно прогрессирувавшего века тоже выглядел как великолепное достижение и в экспериментальной и в вычислительной технике¹; однако ни один из этих моментов не создал предпосылок для математического моделирования и формулирования. Главной причиной того, что математика и биология стали, наконец, обретать долгожданный общий язык, явилось, несомненно, формирование и разработка новых понятий и обобщений. Такими понятиями оказались: управление, информация, кодирование, связь, многоступенчатая регуляция — словом, тот именно круг идей, который в основном охватывается термином «кибернетика».

Как уже сказано, новые вопросы потребовали как приложения старых, так и в основном развития новых математических дисциплин. Это обстоятельство определило и план настоящей книги. В начале она дает очерки «классических» разделов математики — основ теории множеств, введения в теорию вероятностей и в математическую статистику под тем углом зрения, который необходим для понимания последующих специальных глав; в этих последних, уже с большей обстоятельностью, обрисовываются: элементы математической логики (гл. 4), общая теория связи (гл. 5), теория информации (гл. 6), начала теории алгоритмов и теории игр (гл. 7). В заключительной, 8-й главе содержится краткий обзор приложения перечисленных дисциплин к изучению функций головного мозга на новых началах.

Книга такого типа, как эта, конечно, не может претендовать на то, чтобы служить учебником или настольным руководством по освещаемым вопросам. В настоящем своем виде она преследует тройную цель.

Во-первых, она стремится облегчить читателю возможность понимания читаемой им новой журнальной и книжной литературы, которая во все возрастающей мере насыщается математическими понятиями и символами и опирается в выводах на более или менее новый и сложный математический аппарат.

Во-вторых, не покушаясь, конечно, на то, чтобы научить исследователя-биолога применять те или другие математические дисциплины и методы для его научной работы, книга должна в достаточной мере ориентировать его в смысле выбора соответственного математического аппарата и характеристики того, чего можно от него ожидать. Более глубокое и обстоятельное знакомство с выбранной им областью он сможет далее почерпнуть из специальной литературы, обширный список которой дается в конце книги.

¹ Вспомним хотя бы «телефоническую» технику Н. Е. Введенского, струнный гальванометр Эйнтхофена, планиметры и интеграторы Амслера и многое другое.

В третьих, наконец, книга ставит своей задачей подвести читателя как можно более вплотную к «переднему краю» развивающихся не по дням, а по часам молодых ветвей прикладной математики, — к тем проблемам и достижениям, которые еще не смогли найти себе место в устоявшихся учебных руководствах и пока только начинают завоевывать себе права гражданства в рабочем инвентаре математических наук.

В какой мере удалось авторскому коллективу¹ решить перечисленные три главные задачи — об этом, конечно, выскажется в свое время читательский суд.

Каковы могут быть вероятные пути и перспективы развития математики в области биологического круга наук вообще и биокибернетики в частности? Для попытки какого бы то ни было прогнозирования в этом направлении будет уместно начать с нескольких наблюдений над историческими путями развития математики.

Первое относится к общеизвестным фактам. Это напоминание о том, что исторически математика развивалась, обогащаясь новыми разветвлениями, идеями и вычислительными средствами, под прямым воздействием изменявшихся условий жизни и запросов со стороны технической практики. Не всегда эта обусловленность выявлялась с полной ясностью. Иногда она вписывалась в более сложные формы взаимозависимости и в переплетения очень разнообразных факторов; однако в целом она неоспорима. Ограничимся немногими отрывочными примерами. У прибрежных обитателей ежегодно разливавшихся великих равнинных рек — ассири-вавилонян и египтян — необходимость восстановления землемерных участков обуславливала развитие начатков геометрии, а необходимость предвидеть наступление разливов и засух — работу над календарем, потребовавшую развития знаний о важнейших арифметических правилах и алгоритмах². Потребности торгового мореплавания повлекли за собой у финикийян (может быть, только переносчиков знаний) дальнейшее развитие арифметики (пропорции, тройное и цепное правила и т. п.) как средства для торговых расчетов. У их прямых наследников по обитанию и происхождению — средневековых

¹ Главы 1—7 написаны В.И. Чернышом, глава 8 — А.В. Напалковым. Кроме того, А.В. Напалковым внесен ряд дополнений, примеров и т. д. в главы 4 и 7.

² Древнейшими открытиями в этой последней области, сделанными вавилонянами еще ранее 2-го тысячелетия до н.э.), были выводы из двух гениальных идей, уже много позже названных аксиомой Архимеда и алгоритмом Евклида; из первой выросло представление чисел в форме степенных рядов (по десятичной и шестидесятиричной системам), из второго — аппарат цепных дробей, явившийся основой для аппроксимации соотношений периодов обращения небесных объектов.

арабов (заслуживших вечную признательность науки за спасение античных достижений от христианского изуверства) те же потребности, перерастая уже в теорию и практику навигации, повели к созданию алгебры, тригонометрии и к разработке общей теории уравнений¹. Нельзя не вспомнить о блестящем расцвете алгебры у итальянцев на самой заре эпохи великих мореплавателей² и разработке в этот же период вычислительного аппарата логарифмов³, выросшего из созданных ранее тригонометрических таблиц. Мы видим, как на почве великих антифеодальных и антиклерикальных бурь и разрыва с мертвой догматикой назрел тот живой интерес ко всевозможным задачам и объектам естествознания и техники, который ознаменовал собой все 17-е столетие и был математически подытожен одновременным великим открытием Лейбница и Ньютона — анализом бесконечно-малых.

Не умножая примеров из истории, отметим только, что и возникновение, и начавшаяся математизация биокибернетики не менее выпукло обнаруживают свою обусловленность задачами и потребностями времени. Проявившись в 20-х годах нашего века первыми проблесками изучения человека в труде (психотехника, биомеханика, профессиография и т.п.), исследовательская работа быстро приближается вплотную к проблематике комплекса человека и машины, к изучению слабых и сильных сторон человека в работе, к компенсированию первых и усиленному подражанию вторым⁴. Кибернетика вообще и ее биологические ветви в частности явились,

¹ Языковыми следами арабского наследства по сей день остаются: заимствованные ими самими у индийцев цифры (Cipher, арабское название нуля, до сих пор сохранилось в том же значении в английском языке), слово алгебра (al gebr wal mokabala) и имя философа-математика IX века Бен-Муза-Альхваризми (т. е. из Хорезма), превратившееся в увековечивший его термин алгоритм.

² Яркое преобладание в алгебре в этот период граждан процветавших итальянских торговых республик очень характерно; он украшен именами Сципионе дель Ферро, Тарталья, Кардано, Леонарда Фибоначчи. К этому перечню следует прибавить еще Паскаля и Ферма, поддерживавших с первыми тесные связи.

³ Логарифмы (Бюрги, Непер, Влакк, Бригг) первоначально преследовали чисто прикладную, вычислительную цель, в чем как раз в эту пору назрела настоятельная необходимость. Заложенная в них и уже понятая Непером глубокая теоретическая идея логарифмической и показательной функции была разработана значительно позже, уже в XVIII веке.

⁴ Ни физиология труда, ни вообще физиология человека не проявили себя в XIX веке ничем, кроме очень немногих крупных, но единичных научных достижений, как, например, энергетические исследования Рубнера, «Очерк рабочих движений человека» Сеченова, «кривая» Крепелина, никем не подхваченных и в то время не получивших дальнейшего развития.

конечно, прямым откликом науки на ту гигантскую революцию в технике и в формах производства, какую мы переживаем в наши дни.

Следующее наблюдение будет, быть может, менее тривиальным. Несколькими схематизируя, можно подразделить все рабочие элементы, входящие в сферу действия математики, на два больших класса. Уже давно получили права гражданства и наименования для этих классов. Явная структурная близость между логикой мышления с отражающей ее системой речи и математикой во всем ее объеме проявилась в том, что наименование одного из этих классов создалось в языковедении, другого — в математических науках.

К первому из этих классов, который мы вслед за лингвистами обозначим как класс номинативных элементов, номинаторов, относятся те объекты, над которыми совершаются математические действия: числа всех родов, величины, геометрические объекты, кольца, группы, наконец, функции и их совокупности как объекты совершаемых над ними операций. Во второй класс операторов отходят все виды действий над номинативными объектами, слишком хорошо известные и многочисленные, чтобы перечислять их здесь¹.

Как тот, так и другой класс обнаруживает в историческом аспекте неуклонное развитие и обогащение. Это обогащение не обязательно проходило синхронно для обоих классов; не всегда можно проследить здесь какую-либо взаимную обусловленность, хотя, как правило, расширение и углубление номинативных понятий возникало как следствие эволюции операторов. В одних случаях и в одни моменты развитие тех и других протекало как раздвигание рамок и границ соответственных категорий, в других — как уточнение, аксиоматизация и т.п. Очень часто предчувствие тех или иных операторных форм уходит своими корнями далеко в глубь истории, проявляясь задолго до того, как созреет возможность их полноценного формулирования. В качестве немногих примеров приведу здесь последовательное применение принципа перехода к пределу, позволившее Архимеду решить целый ряд задач нахождения определенного интеграла; первые шаги идеи экспоненциальной функции (получившей полное определение на два тысячелетия позже) у того же гениального автора «Исчисления песка»; возникающие то здесь, то там проблески дифференцирования, конформного отображения, корректного применения правил пробабилистики и т. д.².

¹ В общепринятом алгебраическом алфавите номинаторы обычно обозначаются буквами и цифрами, операторы — всевозможными знаками действий (+, —, $\sqrt{\quad}$ и т. п.).

² Интересно отметить первый в истории случай использования теории вероятностей (на правило умножения независимых вероятностей) — в труде Коперника, т.е. в приложении к решению чистофизической проблемы. Мало известен, но вполне до-

Один своеобразный факт, много раз подтверждавшийся, имеет самое непосредственное отношение к нашей основной теме. Он сводится к тому, что во все времена признание создававшихся новых номинаторов или расширение ранее известных категорий проходило, как правило, с несравненно большими трудностями, гораздо болезненнее, нежели принятие новых операторов. Борьба против новых, обогащенных форм номинаторов длилась иной раз целыми столетиями, что по отношению к некоторым из них способно вызвать у нас теперь только недоумение. Трудно представить себе в наши дни, что даже после создания аналитической геометрии, уже в XVIII веке, «признание» отрицательных чисел все еще вызывало сомнения (например, у Даламбера); мнимые же и комплексные числа до конца того же XVIII века продолжали считаться и называться «невозможными» числами, хотя уже с начала века для них существовала геометрическая интерпретация¹. Обнаружение иррациональных величин взволновало пифагорейцев до того, что они скрывали от непосвященных эти «опасные» факты. Вспомним, что подобная же судьба постигла, уже в XIX веке, номинативные объекты геометрий Лобачевского и Бойяи, несмотря на осенявший их непререкаемый авторитет Гаусса. Наконец, в текущем столетии столь же бурные проявления недоверия встретили, например, трансфиниты Кантора, или множества, упорядочиваемые с помощью постулата Цермело². В то же время такие революционизирующие нововведения в операторной сфере, как аналитика Декарта, логарифми-

стоверен факт, что решающим аргументом в пользу гелиоцентрической концепции явилась для Коперника не чрезмерная сложность кинематики Птолемея и не низкая точность рассчитываемых по его системе таблиц (у Коперника точность получалась меньшей!), а одно наблюдение, остановившее на себе его внимание: угловая величина видимого суточного движения: а) солнца, б) обеих внутренних планет — по деферентам и в) всех трех известных тогда внешних планет — по суммам смещений по деферентам и эпициклам оказалась во всех 6 случаях совершенно одинаковой [59, 14¹]. Копернику было ясно, что вероятность случайного шестикратного совпадения между периодичностями объектов, ничем причинно не связанными между собой у Птолемея, обязана быть близкой к нулю. В его гелиоцентрическом варианте эта величина, 59, 14', участвует только однажды: это суточный путь самой земли по ее орбите (см W. Bölsche, *Entwicklungsgeschichte der Natur*, Bd. I, 1894, pp. 117 и 129, также сб. «Николай Коперник», АН СССР, 1947). В начале XIX века Лаплас для обоснования своей космогонической гипотезы уже вполне сознательно обращается к тому же правилу, находя в солнечной системе 43 совпадения по плоскостям и формам орбит и оценивая вероятность их случайного возникновения в единицу на 4 триллиона (см P. S. Laplace, *Expos. du systeme du monde*, v. 5, гл. 6, 1796; цит. по Bölsche).

¹ См. Н. Бу р б а к и. Очерки по истории математики. Из-во Иностранной литературы, 1963, стр. 29.

² ¹ См. Е. В о г е l. *Lecons sur la theorie des fonctions*. Paris, 1914, pp. 111, 135.

рование или решение дифференциальных уравнений с помощью рядов, воспринимались и вращали в вычислительную практику совершенно безболезненно. По-видимому, здесь проявляется какое-то очень общее свойство психологии мышления, поскольку мы встречаемся с таким же точно явлением и в других областях науки¹. Это наблюдение еще сможет понадобиться нам в дальнейшем.

В самой тесной генетической связи с понятием математических операторов стоит обширный класс алгоритмов, повышенный теоретический интерес к которым в наши дни находится в прямой связи с вопросами машинного программирования. На понятии алгоритма (А) и его эволюции необходимо остановиться несколько подробнее.

В первоначальном словоупотреблении термин А. почти совпадал с понятием оператора, отличаясь от последнего разве лишь тем, чем отличается, например, целостная производственная операция от составляющих ее последовательных технических элементов. В этом значении А. представлял собой систему точных операторных предписаний, обеспечивавшую выполнение того или иного вычислительного процесса. В качестве примеров таких А. (мы будем называть их далее А. 1-го рода) можно назвать, начав с «А. Евклида»: А. решения квадратных или кубических уравнений, А. дифференцирования, А. вычисления коэффициента корреляции и т. п. Однако уже с первых моментов кристаллизации понятия А. оно стало испытывать очень характерную эволюцию, частью осознанную, частью протекавшую стихийно, — эволюцию, по ходу которой А. все больше дивергировал от первоначального своего значения, родственного с терминологическим значением оператора. Так как по существу каждый А. подразумевает целенаправленное действие, имеющее целью образовать по одному или нескольким производящим элементам (числам, величинам, функциям) — один или более результирующих или производимых элементов, стоящих по отношению к первым в определенной смысловой зависимости, то по ходу эволюции понятия А. центр тяжести его математического значения в возрастающей степени стал перемещаться от процессуальной стороны именно в сторону указанной обусловленной зависимости. Существенным

¹ Такое же долгое и мучительное недоверие к субстратам мы встречаем, например, в физике по отношению к реальности атомов, оспаривавшейся еще Оствальдом на самом рубеже XX века, или по отношению к двойной, корпускулярно-волновой структуре лучистой энергии, к реальному существованию нейтрино или античастиц и т. п. (см. например, сборник «Философские вопросы современной физики». АН СССР. М., 1952). И в биологии такую же участь испытали такие вновь вводившиеся субстратные понятия, как нейрон, ген или живой, но небелковый вирус.

для A . оказалось то, из чего исходит данный математический процесс и что он и сейчас при его посредстве, независимо от того, какими техническими средствами (операторами) может быть получено искомое и даже от того, существуют ли эти технические средства, во всяком случае могут ли они быть унифицированы в виде стандартной системы. Этот более новый и, как мы увидим, неисчерпаемо более обширный подкласс A . мы назовем A . 2-го рода. Ниже будут приведены аргументы в пользу огромного значения именно этого последнего рода A . для биологической математики и биокибернетики.

Выразительнейшим примером стихийно создававшегося A . 2-го рода может служить процесс нахождения неопределенного интеграла, определявшийся классиками анализа как обращение дифференцирования. В то время как полный канон дифференцирования может быть изложен на четырех страницах, задача нахождения примитивной для функций разных видов задала работу на целое XVIII столетие украсившей его великолепной плеяде математиков, оставив еще много темных пятен и на последующие периоды. Как известно, эта задача потребовала изобретения ряда новых функций, новых вспомогательных числовых величин, как рациональных (числа Бернулл и Эйлера), так и иррациональных (эйлерова постоянная C и т.п.). Что еще характернее, она обусловила расчет многообразных вспомогательных числовых таблиц (Γ -функция, бесселевы функции, шаровые и эллиптические интегралы и пр.), представляющих собой по сути и смыслу несомненную разновидность все тех же A . 2-го рода¹.

Рост интереса к A . 2-го рода за последние 100—150 лет, интереса уже не стихийного, а сознательного, обосновываемого математически и

¹ Таблицы вычисленных дискретных значений функции представляют собой форму использования обходных приближенных путей там, где A . 1-го рода или отсутствуют или являются крайне невыгодными по их трудоемкости. Не задерживаясь здесь на других примерах стихийного применения A . 2-го рода в математических задачах (задачи по нахождению корней уравнений высших степеней, по интегрированию дифференциальных уравнений в частных производных, теоретико-механическая задача о трех телах и т.п.), отметим только, что на практике часто предпочитают не прямые и, в сущности, неприципиальные приемы по типу A . 2-го рода даже и там, где налицо ясные и недвусмысленные A . 1-го рода. Во всех таких случаях останавливает на себе внимание неприципиальность даже самого по себе способа аппроксимативного изображения иррациональных количеств систематическими степенными многочленами (по десятичной или другой системе) потому уже, что здесь отсутствует какая бы то ни было возможность написать общий член такого выражения, в резком отличии, например, от строки Маклорена или цепной дроби. Любое рукописание по вычислительной математике изобилует примерами, подтверждающими сказанное (с.м. Л. Канторович. «Функциональный анализ и прикладная математика», Успехи математических наук, 1948; И. Березин и Н. Жидков. «Методы вычислений». Физматгиз, 1962, и др.).

философски, объясняется, конечно, огромным расширением области тех понятий и процессов, которые оказывается возможным и необходимым включить в обсуждаемый род А.

Своевременно будет сразу указать на полную аналогию с тем, как развитие класса операторов повлекло за собой появление новых, все более абстрактных и все менее представимых «идеальных» номинаторов. И здесь углубление теории А. 2-го рода вместе с расширением и качественным осложнением классов изучаемых функций сопровождалось формулированием новых родов «идеальных» операторов, адекватных тем процессам, которые требовали бы применения А. 2-го рода. Там, где оказывалось необходимым либо распространить действие уже разработанных операторов на ранее недоступные им области, либо перебросить своего рода мост через поле номинативных объектов, допускающих только условное определение, теория функций, как и теория множеств, смело шла на введение в работу процессов, прямо принадлежащих к категории А. 2-го рода и простирающихся на поля таких «идеальных» объектов ¹.

Остается сделать последнее историческое замечание. В каждой возникавшей области и ветви разраставшихся математических наук можно проследить три фазы развития — фазы, если и не обязательно хронологические (действительность всегда сложнее любой схемы), то смысловые, очевидно, стоящие в принципиальной связи с общей логикой развития.

Первой из этих фаз обычно является в ы ч и с л и т е л ь н а я. Новый разрабатываемый математический процесс преследует одну главную цель — обеспечить численное или обобщенно-вычислительное решение нового класса задач. Так было в древности с разработкой способов решения уравнений, у «классиков» анализа — с операторной техникой интегрирования дифференциальных уравнений; то же имеет место в наши дни, например, с шенноновскими вычислительными алгоритмами теории информации или с бесчисленными прикладными задачами строительной механики, аэродинамики и т. д. По ходу дальнейшего развития за этой фазой наступает вторая, которую можно было бы назвать фазой моделирования. Центр тяжести интереса переключается здесь с результатов вычисления на исследование и критический анализ смысловых, структурных соотношений внутри

¹ Примеры объектов «идеального» типа слишком многочисленны, что затрудняет выбор даже наиболее характерных. Так, задачи теории чисел привели Куммера к классу «идеальных чисел»; по ходу развития теории алгебраических полей формулируется обобщенный «идеал» Дедекинда; Борель определяет «идеальные функции», вытекающие из анализа трансфинитов и формулирования понятия «функциональной непрерывности» по аналогии с сечениями Дедекинда (см. E. Borel. *Lecons sur la theorie des fonctions*, 1914, стр. 118; Н. Бурбаки. «Очерки по истории математики». ИЛ, 1963, стр. 71). Анализируя классификацию функций

разрабатываемого класса математических объектов, строения формул, выражающих эти соотношения, роли и взаимной зависимости входящих в них элементов и т. д. В этой фазе исследуются границы существования или приложимости, условия сходимости рядов, свойства определенных интегралов, связанных с этим классом. Характерным примером скачкового перехода от вычислительной фазы к моделирующей является победа над непринципиальной, чисто вычислительной птолемеевой системой эпициклов, одержанная сперва с помощью трех строгих кинематических законов Кеплера, а затем — с помощью могучего ньютоновского аппарата, опирающегося на теорию тяготения. Яркий образец математика, вся творческая деятельность которого протекала в направлении этой второй фазы, являет нам «великий алгебраист» XIX века А. Л. Коши¹.

С той же неизбежностью возникает и третья фаза, — назову ее фазой классификации и аксиоматизации. Эта фаза стоит в наиболее тесных взаимоотношениях с общей теорией познания; для одних математических дисциплин она наступала раньше, для других позже, но проследить ее можно, как кажется, везде. Пионером этой фазы в одной из проблем геометрии бесспорно является Н.И. Лобачевский, основоположниками геометрической аксиоматики в самом общем смысле — Больцано и Гильберт. В теории вероятностей естественно приходят на мысль А. Пуанкаре и С.Н. Бернштейн. Целиком к этой фазе относятся работы Дедекинда по анализу иррациональностей, изыскания авторов общей теории множеств Г. Кантора и всех его продолжателей, прогрессирующее углубление и расширение понятия интеграла Коши, Риманом, Лебегом, Данжуа и др.². Нет надобности умножать число примеров; нужно только подчеркнуть, что во всех случаях разработка аксиоматики неразрывно связывается с определением и анализом классов изучаемых фактов и отношений, что и побудило меня дать этой фазе двойное название. Исследование тех глубоких корней, которые в принципе характеризуют эти классы и их системы, приводит при этом неизбежно к наиболее абстрактным разделам и направлениям теории.

Те исторические наблюдения над ходом и логикой развития разраставшегося древа математики, которые были обрисованы выше, смогут

¹ Дальнейшими примерами этой фазы в математике могут служить: «классическая» теория вероятностей, теория функций, наименее отличающихся от нуля, аналитическое продолжение и ряды полиномов и т. д.; в математической физике — волновые уравнения, матрицы всеобщей теории относительности и многое другое.

² См. С. Н. Бернштейн. Теория вероятностей, 1934, стр. 10; Э. Борел ь. Вероятность и достоверность. Физматгиз, 1961; De la Vallée-Poussin Ch. Lecons sur la theorie des fonctions; Н. Н. Лузин. Интеграл. М., 1915; A. Denjoy C. R. de L'Acad. Sci. IV, 1912, и т. д.

вооружить нас в первых попытках если не прогнозирования вероятных линий развития математики в биологии и биокибернетике, то по крайней мере обоснованного выделения стоящих перед ней существенных направлений и задач.

Уточним сразу, что речь должна идти не о каком-то приживлении или подсадке математики к биологии извне (такие попытки делались и, несомненно, будут еще делаться и впредь). Вопрос стоит так, что в настоящее время созрела и необходимость и возможность выращивания биологической математик и изнутри, из самого существа тех проблем, которые ставят перед нами науки о жизнедеятельности. При этом кажется правдоподобным и предположение, что биокибернетике — непосредственному предмету этой книги — суждено стать в дальнейшем не одной из ветвей биологии, а очередной ступенью развитая всей биологии в целом, и при этом именно той ступенью, которая имеет достаточные предпосылки для успешного развития биоматематики.

Исторически и в обсуждаемом здесь круге вопросов дело началось с типичных проявлений первой, вычислительной фазы математизации. Уже в прошлом веке мы встречаемся с целым рядом примеров приложения к биологическим задачам вариационной статистики, которую Пирсон и его продолжатели специально развивали и расширяли, чтобы сделать ее алгоритмы как можно более пригодными к оценкам, сравнениям и количественным характеристикам биологических явления. Наше время сумело расширить эту же базу разработкой, а потом и автоматизацией алгоритмов ауто- и кросскорреляции. Немало поисков было в последние десятилетия в направлении анализа биоэлектрических кривых всякого рода (электроэнцефало-, электромио-, электроретинограмм и т.п.); но здесь каждый раз при попытках подняться из вычислительной фазы в фазу моделирования перед аналитиками вырастала непроходимая стена, и эти кривые, вне всякого сомнения насыщенные богатым внутренним содержанием, как заколдованные, не поддались к настоящему моменту еще никакой моделирующей расшифровке. Остается добавить к этому списку диаграмму Никвиста, подборки и сводки «эмпирических формул»¹ и еще сколько-то примеров столь же чисто утилитарного порядка.

Вторая по счету фаза — фаза математического моделирования — родилась применительно к биологии, по-видимому, только одновременно

¹ К. А. Семендяев. Эмпирические формулы. ГТТИ, 1933; Li pka. Graph. and mechan. Computations, N. Y., 1921; Running. Empirical Formulas, N. Y., 1917; Н. HeImholtz. Die Lehre von den Tonempfindungen. Lpz., 1879; E. H e r i n g. см. Hermann's Handb. d. Physiologie etc.; O. Fischer. Kinematik organischer Gelenke. Braunschweig, 1907 и т. п.

с кибернетикой. Если не считать малоудачных попыток моделирования явлений слуха (Гельмгольц, Геринг, Эвальд) и еще менее удавшихся уравнений кинематики суставов (О. Фишер), то первые проявления интереса к теоретическим моделям в биологии более или менее совпадают с зачатками электронной техники и того, что мы теперь называем бионикой. Пионерами в направлении обобщающего моделирования в биологии нужно, по-видимому, считать Ж. Леба и особенно П.П. Лазарева с развитой им ионной теорией возбуждения¹. С момента рождения кибернетики фаза моделирования проявила себя энергичным и разносторонним развитием и широко отражена в современной литературе². К этой же фазе нужно отнести многочисленные работы по теоретическому моделированию нервных сетей, процессов запоминания и обучения по линии так называемой перцептронники и т. д.³

Третья фаза, фаза классификации и аксиоматизации, еще очень мало и только ощупью дает знать о своем существовании в области биологии. К ней приходится отнести только опыты «биологической топологии» Ращевского, «гипотезу компактности» Э.М. Бравермана и, пожалуй, одно из частных, но глубоких прозрений самого творца кибернетики Н. Винера, обратившего внимание на существенное значение тригонометрических рядов для открытой им проблемной области⁴.

Между тем представляется очевидным, что при посадке нового дерева нужно прежде всего позаботиться о его корнях: укрепятся корни, будут и листья. Именно постольку, поскольку дело идет не о прикладной математике или приложениях математики к биологии, а о биологической математике как самостоятельной дисциплине, которая должна выкристаллизоваться из самой биологии на соответствующем этапе зрелости последней, постольку эта дисциплина должна прежде всего найти для себя самую общую, классификационную и аксиоматическую основу. Это и есть сейчас основная задача, которую должны решить совместные усилия математиков и биологов.

¹ П. П. Лазарев. Исследования по ионной теории возбуждения. М., 1918, и др. Там же лит. ссылка на Леба, Нернста.

² См., например, «Моделирование и биологии», сборник ИЛ, 1963; В. М о и с е е в Вопросы кибернетики в биологии и медицине. Медгиз, 1960.

³ См. литературные указания по главе 8 настоящей книги.

⁴ E. Rashevsky. IRE Transactions, N.—Y., 1960. Э.М. Браверман. «Автоматика и телемеханика», 1962, т. 23, № 3; см. также М.А. Айзерман. Сборник. «Биологические аспекты кибернетики». АН СССР, 1962, стр. 174.

Можно ли, основываясь на отраженном в литературе опыте последних лет и опираясь на проделанный выше исторический анализ, высказать что-либо определенное относительно выявляющихся важных и широких классов биоматематических отношений? Думается, что в настоящий момент это уже возможно, по крайней мере, — что уже наступило время для предположений и дискуссий в этом обобщающем направлении. Все сказанное выше по поводу эволюции математических направлений даст для таких предположений соответствующие точки опоры. Оговариваюсь: все высказываемое дальше изобилует, может быть, и пробелами, и неправильной расстановкой ударений, и просто ошибками, но их надо целиком отнести за счет моей очень недостаточной компетенции, и они не должны стануть собой всего того принципиального, что я пытался в них выразить.

Становясь на уровень фазы классификации, можно уже, по-видимому, выделить и пробовать определить по меньшей мере четыре крупных класса или категории математических отношений в биологии, которые можно провизорно обозначить как:

- а) класс отображений,
- б) класс функций разброса,
- в) класс биоструктур управления и
- г) класс функций сличения и оценки.

Между ними могут уже сейчас быть указаны, а в последующем несомненно уточнятся глубокие внутренние связи и отношения иерархии и соподчиненности.

Начну с к л а с с а о т о б р а ж е н и й. В этот провизорно-определяемый класс войдет и обширный круг отношений, близко и давно известных математике, и наряду с этим и целый ряд зависимостей, проникающих в самое существо жизненных явлений. Чтобы охватить этот круг как можно более широко, попытаемся определить класс отображений следующим образом.

Если для двух совокупностей (функций, множеств, полей и т.п.), A и $\{A\}$, имеют место условия:

1) каждый элемент a (или группа элементов) совокупности A соотнесен к группе элементов $\{a\}$ совокупности $\{A\}$ по определенному закону соотнесения Φ (одно- или многозначному), так что $\{A\} = \Phi\{A\}$; 2) свойства элемента (точки) a совокупности A и его окрестности (например, такие, как непрерывность, дифференцируемость, принадлежность к числу точек сгущения, вероятность и т. д.) — (p_a, q_a, \dots, t_a) обуславливают соответственный пакет свойств $(p'_a, q'_a, \dots, t'_a)$ элемента $\{a\}$ по закону φ , так что $(p'_a, q'_a, \dots, t'_a) = \varphi(p_a, q_a, \dots, t_a)$, то совокупность $\{A\}$ есть отображение или образ совокупности A . Эту последнюю мы назовем отображаемой или оригиналом. Указанная зависимость может быть как обратимой, так и необратимой.

И теоретическая математика, и математическая физика изобилуют объектами, принадлежащими к описываемому здесь классу, причем зависимости Φ и φ оперативно связываются в них с алгоритмами как 1-го, так и 2-го рода. Из теоретических объектов к этому классу относятся, например, отображения проективные и конформные, отображение функции в аналитическом продолжении или в ряде полиномов; интегралы Грина и Стокса; отображение системы функций в описываемом их дифференциальном уравнении; изображения по Лапласу или Карсон-Хевисайду и т.п. В теоретической физике к этому классу отойдут, например, теория поля потенциала, уравнения Максвелла, отображение движения частицы волновой функцией и др. Для нашей задачи важно отметить здесь положения, возникавшие, очевидно, стихийно, характеризующиеся твердым предпочтением отображения его оригиналу, даже в случаях вычислимости последнего (это справедливо, например, по отношению к дифференциальным уравнениям Максвелла) и тем более — в случаях, при которых оригинал, связанный с отображением каким-либо A . 2-го рода, вообще не поддается ни конкретной интерпретации, ни наглядному изображению. Это, однако, нимало не мешает строгим и полным формулировкам физического закона на одних только отображениях. Сказанное можно подтвердить двумя замечательными примерами, которые заслуживают быть приведенными здесь ввиду того, что сходные с ними ситуации не преминут с неизбежностью выявиться и в области биологических отображений.

Первый пример относится к распространению света. Во всех руководствах по оптике приводятся перспективные графики хода электрического и магнитного векторов плоско-поляризованного луча (рис. 1). Между тем, по-видимому, не существует никакого способа представить аналогичным образом картину самого нормального неполяризованного луча (пучка, фронта), или хотя бы луча, поляризованного по кругу. Их процессуальное поведение остается совершенно недоступным для пространственного изображения, что, однако, ничуть не мешает возможности делать все требуемые выводы из отображения такого процесса, в данном случае — из его дифференциального уравнения.

Второй замечательный пример, снова из области оптики, относится к отображению световых колебаний процесса излучения в форме его спектра, при алгоритме, которым является здесь интеграл Фурье. Нам в точности известна форма колебания, соответствующая сплошному спектру излучения раскаленного тела (так называемая импульсная функция, рис. 2). Но совершенно неизвестно, как может выглядеть аналогичная кривая колебаний для случая линейчатого спектра поглощения или хотя бы для случая одной единственной полоски поглощения, например, линии D

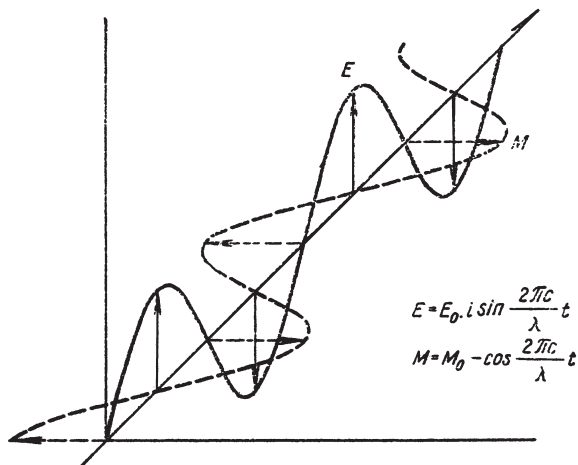


Рис. 1.

натрия. Мы не знаем, как произвести вычитание из суммарной функции одной какой-нибудь частоты и что при этом могло бы получиться; и тем не менее такая неизобразимость оригинала нисколько не озабочивает, поскольку все необходимые выводы и расчеты с исчерпывающей ясностью получаются в данном случае из его отображения в виде фотометрического (профильного) спектра.

Не трудно представить себе, насколько широка область класса отображений в биологической проблематике, где она включает многие из жизненно важных отношений между подсистемами организма или между организмом и средой, внутри которой он действует. Кодированная информация, поступающая в организм, на всех этапах ее следования через рецептор, афферентный путь и мозговые синаптические системы в кортикальные аппараты мозга — это целая цепь явлений из обсуждаемого класса отображений. Каждый афферентный процесс отображается (далеко не однозначно!) в ответном двигательном или ином действии. В основе каждой програм-

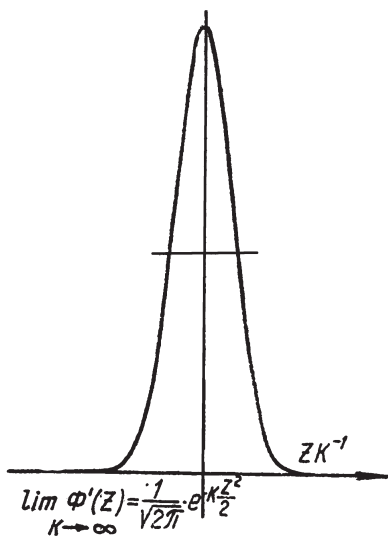


Рис. 2.

мы или проекта действия лежат внутренние процессуальные системы, которые я обозначил в других работах как «модели настоящего и будущего»¹.

Коды РНК и ДНК являются биологическими отображениями процессов предстоящего развития и роста. Речь как психобиологическая и психосоциальная структура есть опять-таки сложное и отнюдь не примитивно-поэлементное отображение воспринимаемого мира и своей активности в нем. Самой важной задачей для исследователей является теперь анализ (уже не в частных случаях, а в самых общих и определяющих чертах), тех законов, которые властвуют в сфере биологических отображений. Можно было бы назвать еще много примеров; не умножая их более, я остановлю свое внимание на одной своеобразной разновидности отношений отображения, принадлежащей исключительно биологическому кругу явлений и явно имеющей там очень большое значение. Это отображение двигательного или любого иного активного процесса, смоделированного или запрограммированного в виде «модели будущего», в его фактическом осуществлении. Обозначая эту модель через F , действие, отображающее ее, через $\{F\}$, будем иметь $\{F(t + t)\} = \Phi [F(t)]$, где t время предварения моделью того действия, которое должно последовать за ней. Эта формула, грубо приближительная уже потому, что t не есть постоянная величина, по самому смыслу своему существенно отличает совокупности протекающих здесь процессов от встречающихся в искусственных автоматах с какими бы то ни было линиями задержки. Обрисованная разновидность образует мост от класса отображений к классу структур управления, о которых будет сказано ниже.

Необходимо сделать здесь ударение на том, что в сфере биологических задач и соотношений еще в несравненно большей степени, чем, например, в теоретической физике, должны будут играть важную, может быть, решающую роль далекие от прямой вычислимости алгоритмы 2-го рода.

Именно здесь более чем где бы то ни было приходится ожидать появления «идеальных» форм операторов, функций, чисел, неопределимых как числа («nombres incalculables»), и т. д. К этому вопросу мы еще вернемся.

Глубокое своеобразие класса отображений в биологических объектах и присущей ему алгоритмики выявляется более ясно при рассмотрении следующего класса, к которому мы теперь обратимся, класса ф у н к ц и и р а з б р о с а. Начнем издалека.

Большой многолетний опыт точного изучения различных двигательных актов человека показал автору неизменно присущую им всем черту, особенно ясно выступающую применительно к навыковым, многократно

¹ См., например, «Вопросы философии», 1961, № 6.

повторяемым двигательным актам — таким, как ходьба, бег, письмо, простые производственные операции и т.п. Эта черта состоит в неизменно свойственной всем этим актам довольно значительной вариативности их точного кинематического рисунка или параметров кинематических уравнений, описывающих эти движения. Такая вариативность далеко не всегда имеет приспособительный характер, вызываясь, например, неровностями дороги при ходьбе, порывами ветра, сопротивлением материала или противника и т.п. Наоборот, и при идеально ровной и однородной дорожке при всех прочих равных условиях все-таки между отдельными последовательными циклами движения имеет место довольно значительный разброс. Создается впечатление, что организму, по удачному определению одного из моих коллег, в каких-то пределах «все равно», будет ли очередной цикл движения кинематически реализован так или на сколько-то сантиметров либо десятых секунды иначе¹.

Может быть, есть смысл попытаться описать данный род движений подогнанным к нему уравнением (или совокупностью таковых), где параметры, входящие в него наряду с основными переменными, были бы численно ответственны за различия циклов, и затем надстроить над первым уравнением другое, которое описывало бы закон изменения этих параметров в функции времени? Этот закон содержал бы в своей формулировке свои параметры, так сказать, более высокого порядка; и тогда нужно было бы, чтобы быть последовательными, стараться сформулировать «закон изменения закона параметров» и т.д. Не слишком ли похож такой приступ к биокинематическим явлениям на наслаивание эпициклов, загромоздивших, но не спасших систему Птолемея?

Прежде чем добиваться альтернативных путей к более принципиальному анализу указанной вариативности, надо остановиться еще на факте очень большой широты охвата этого рода явлений, что делает их заслуживающими серьезного научного внимания. Описанная «принципиальная беспринципность», или правило «все равно», господствует не только в сфере произвольных движений, которая и сама по себе достаточно широка. Та же картина наблюдается и в движениях гладкой мускулатуры (например, перистальтика, движения червей или моллюсков и пр.), и в циклах электро-

¹ Амплитуда разброса есть, конечно, очень изменчивая величина, и по ходу приближения к целевым точкам движения (если таковые имеются, например, в движениях с установкой на меткость) она стремится к значениям, близким к нулю. Более того, в метких баллистических движениях (например, удар кием по шару на бильярде) при значительных амплитудах разброса на промежуточных этапах движения самый удар наносится опытной рукой с совершенно поразительной точностью, как могут показать простейшие расчеты.

кардиограммы, и в кинематике мерцательного эпителия. Но обсуждаемый круг еще более широк — он захватывает и область морфологии.

В неживой природе нет ни одного примера того постоянного свойства живых тканей и органов, которое чисто условно можно назвать мягкостью. Твердые тела неорганического мира обладают разными степенями упругости, пластичной вязкости, твердости и т.д., с разными значениями всех этих параметров, но среди них вряд ли найдется хоть одно, способное моделировать фактуру, например, головного мозга или печени, хорошо знакомую всем, кто видел их на секционном столе¹. Помимо интервариативности, межиндивидуальной неодинаковости, которой я коснулся в другой работе², ни один орган или элемент тела вплоть до клетки (кроме костного или хитинового скелета) не имеет присущей ему строго определенной формы, которую можно было бы в целях количественного описания счесть за главную, характеризуя далее все деформации органа как отклонения от нее. И на секционном столе, и *in situ* каждый такой объект проявляет себя непрерывной вариативностью формы во времени, причем и здесь эти изменения формы подчиняются правилу «все равно», хотя такое обозначение и нельзя считать строго научным.

Очень возможно, что у читателя, хотя бы применительно к затронутой вначале кинематической вариативности, давно уже назрело готовое предложение. Вариативность циклов движения бесспорна; если зарегистрировать достаточно большое количество повторов движения при строго равных условиях, то каждой фазе движения будет соответствовать рой или кучка точечных положений, какие занимал данный пункт тела (например, конечности) в последовательных циклах движения. Далее, к нашим услугам имеется аппарат вариационной статистики; распределение «точек вариативности» в каждом данном облачке точек должно отвечать закону Гаусса, и движение сможет быть исчерпывающим образом описано и охарактеризовано, если мы сумеем установить для каждой из последовательных фаз средние значения (по координатам x , y , z , t) и квадратичные отклонения. Но так ли это, и имеем ли мы право на беспринципное перенесение на физиологический факт нормального закона распределения только потому, что он безупречно строго оправдал себя в термодинамике или в законах, управляющих поведением растворов и газов?

¹ Химия научилась в последнее время воспроизводить эти механические свойства «мягкости» в различных органических полимерах, но, состоя из больших органических молекул и будучи первоначально синтезированы в подражание естественным большей частью растительным веществам, такие полимеры, конечно, не нарушают справедливости высказанной в тексте мысли.

² См. «Вопросы философии», 1962, № 8, стр. 78.

Для ответа вспомним, что «нормальный» закон Гаусса выведен из совершенно определенных предпосылок теории вероятностей, на основе закона биномиальных коэффициентов и закона больших чисел. Ситуация, к которой он относится и которую выражает, имеющая место с полной строгостью применительно к кинетической теории газов и жидкостей, — это ситуация, где налицо очень большие (порядка не ниже 10^{20} или «числа Авогадро», $6,06 \cdot 10^{23}$) количества молекул, которые мы имеем все основания считать неразличимо одинаковыми внутри каждого их сорта. Здесь эта одинаковость прямо уполномочивает на применение биномиального принципа распределения, высокие порядки количеств на обобщение посредством закона больших чисел. Но теперь, спрашивается, где же перед нами хоть сколько-нибудь сходные условия в любом — биологическом объекте или процессе, к какому бы мы ни обратились?

Порядки числовых величин, с какими мы сталкиваемся в анатомии или физиологии, например, столь часто встречаемое в настоящее время в кибернетической литературе ориентировочное число клеточных элементов человеческого мозга, представляются нам большими, покуда мы берем их безотносительно; но ни это число (около 10^{10}), ни, например, число эритроцитов во всем кровяном русле взрослого (около 10^{13}) не идут ни в какое сравнение с упомянутыми выше физическими величинами, будучи по меньшей мере на 10 порядков ниже. Но дело еще даже не в этом. В самом деле, за исключением эритроцитов (которые после выхода из стадии эритробластов на короткий срок своей службы в кровяном русле уже, собственно говоря, представляют собой неживые, безъядерные клетки), есть ли в организме где бы то ни было клетки, которые мы были бы вправе считать неразличимыми в таком же смысле, как неорганические ионы в растворах? Вся современная теория мозга, в частности, целиком базируется на индивидуализации нейронов, подкрепляемой также и морфологией их тел и проводящих систем. Ту же удаленность от высоких порядков по численности и от «обезлички» клеток мы встретим и в скелетно-мышечном, и в почечной, и в печеночной ткани — вообще в каждой структурированной системе организма. Так не значит ли это, что совершенно неприципиальное применение «нормальной» кривой распределения ко всяким явлениям биологических вариаций, характерное и, пожалуй, естественное для «вычислительной» фазы научного уровня, должно быть категорически отвергнуто с наступлением фазы моделирования, а тем более фазы аксиом и классификаций? Мы имеем сейчас уже все возможности ставить вопросы совершенно по-другому, с самым пристальным вниманием, как раз к тому, что вычислительная фаза старалась или игнорировать или нивелировать с помощью усреднений.

Чтобы подойти к вопросу более принципиально, попытаемся наметить возможное объяснение фактов разброса и явлений «все равно», а также и того, что при всей широкой изменчивости амплитуд разбросов подобного рода индифферентизм совершенно отсутствует по отношению к некоторым существенным сторонам или фазам действий. Применительно к управлению двигательными актами наиболее правдоподобной гипотезой представляется сейчас гипотеза низовых матриц, выдвинутая рабочей группой И.М. Гельфанда, В.С. Гурфинкеля и М.Л. Цетлина и начавшая уже получать серьезные экспериментальные подкрепления в электромиографии¹. По этой гипотезе вышестоящий программирующий и управляющий прибор мозга направляет вниз по эфферентным путям не конкретные и детализированные эффекторные команды, а лишь команды включения тех или иных рабочих матриц, выработавшихся ранее и локализованных, по всем данным, в сегментарных аппаратах спинного мозга в составе альфа- и гамма-мотонейронов, афферентов разных рангов, клеток Реншо и, видимо, еще каких-то вставочных образований. Каждая такая матрица, будучи включенной (активированной), обладает достаточной степенью автономности в осуществлении двигательных операций, причем переключение их наступает или по требованиям мозговых приборов сличения на основании афферентных сигналов о наступившем рассогласовании, или же вследствие своего рода апелляции, исходящей от самой сегментарной системы в случае, если сама она оказывается не в состоянии справиться с задачей и ситуацией. Если представить себе, что структурно такие низовые матрицы находятся в наиболее близкой аналогии с игровыми, причем поведение их определяется «платами» или «штрафами» каких-то афферентных порядков, то упомянутая апелляция кверху может проистечь, например, из ситуации наступившего «разорения» игрока. Нам нет надобности здесь углубляться в развитие этой несомненно эвристически-плодотворной гипотезы, более важно оттенить другое. Если действительно вариативность и разброс возникают за счет функциональных свойств и «игровых» условий низовых матриц, то математические характеристики наблюдаемых разбросов должны самым прямым образом зависеть от упомянутых свойств матричного аппарата и управляющих им приборов. А это значит, что функции разброса в каждом данном случае являются своего рода отображениями тех процессов, в которых они фигурируют. Если эта мысль справедлива, то сами процессы управления и реализации актов действия, трудно доступные как для регистрации, так и для прямой математической интерпретации,

¹ И. М. Г е л ь ф а н д, В. С. Г у р ф и н к е л ь, М. Л. Ц е т л и н. О тактиках управления сложными системами в связи с физиологией. В сб. Биологические аспекты кибернетики. Изд. АН СССР, 1962, стр. 66.

смогут найти себе эту интерпретацию в своих отображениях через функции разброса, во всем широком качественном разнообразии и своеобразии этих последних. Какими именно алгоритмами эти функции окажутся связанными со своими оригиналами и будут ли эти алгоритмы изобразимы в существующих на сегодня понятиях и символах — это, разумеется, не играет принципиальной роли и, может быть, приведет только еще к одной или нескольким категориям «идеалов», которые, надо надеяться, пройдут более безболезненно, чем это бывало в прежние времена.

Стоит ли описанное выше морфологическое свойство «мягкости» в какой-нибудь смысловой связи с явлениями кинематической вариативности, или здесь перед нами не более чем чисто внешняя аналогия; удастся ли найти соответственные математические средства для того, чтобы охватить сразу всю широту класса «функций разброса», — пока еще совершенно неясно. С большой степенью уверенности можно сказать только, что по всему обсуждаемому классу ведущая роль должна будет принадлежать теории вероятностей; но, очевидно, относящиеся сюда проблемы потребуют создания новых и глубоко своеобразных разделов ее.

О классе биологических структур управления придется сказать значительно меньше. Дело в том, что этот класс успел получить и по фазе вычислений, и по фазе моделирования широкую и глубокую разработку в форме общей теории автоматике. Поэтому, хотя обсуждаемый класс все еще мало разработан по линии биологических объектов, в особенности в смысле их углубленного анализа в фазе аксиоматизации, но для высказывания в этих последних направлениях все равно необходима значительно большая компетенция, нежели та, которой располагает автор. Остановимся поэтому только на двух интересных пунктах.

Первое, что заслуживает внимания, это то, что все связанное с кругом понятий управления совершенно отсутствует в неживой природе. И само управление, и те технические формы и средства, которые им используются, являются исключительной (но зато всеобщей) принадлежностью органического мира, и все искусственные устройства этого рода представляют собой по сути дела их имитации. Действительно, управление не может иметь смысла, если оно беспредметно; оно всегда предполагает наличие целевой установки или задачи, которая требует активного решения с преодолением возникающих на этом пути препятствий. Поэтому управление находится в самой тесной связи с той категорией «моделей будущего», которая уже упоминалась в связи с классом отображений. В искусственных автоматических системах такая модель будущего суррогатно заменяется закладываемой в них программой; а в экспериментальных образцах самопрограммирующихся систем по мере их усовершенствования

все ближе воспроизводится само явление внутреннего экстраполирования и моделирования. Насколько далеко пойдет при этом приближение к реальным живым формам, покажет время, может быть, и не слишком далекое.

Второе, что, по нашему мнению, необходимо сделать, — это подчеркнуть теснейшую внутреннюю связь между классом биоструктур управления в организмах и опять-таки все тем же гигантским классом отображений. Можно сказать, что биоструктуры управления — его строение, блок-схема и обусловливаемые ими процессы — стоят по отношению к классу отображений в такой же зависимости, в какой алгоритмы стоят по отношению к соответствующим производящим и производимым элементам математического процесса. При этом вся структура управления организуется так, чтобы минимизировать при всех побочных воздействиях и помехах нарушения требуемой зависимости между отображением и его оригиналом. Если выразить эту зависимость, как и выше, символом Φ , то закономерности активной минимизации ее нарушений нужно будет выразить в форме некоторого функционала F_Φ , отражающего степень остаточного нарушения и стремящегося к нулю за счет действия управляющих систем организма¹.

О классе сличений и оценок также придется сказать немного. Доказывать или обосновывать как-либо его всепроникающую биологическую значимость не приходится; поэтому я остановлюсь здесь только на том своеобразном чисто математическом интересе, который этот класс представляет.

Немецкими учеными были предложены удачные термины, которые начинают понемногу прививаться и в нашей отечественной литературе. По каждой переменной, подлежащей регулированию (*Regelgröße*), ее программное значение, требуемое на данный момент, обозначается как зольверт (*Sollwert*, *Sw*), а ее фактическое значение в тот же момент — как истверт (*Istwert*, *Iw*). Эти переменные значения истверта замеряются соот-

¹ В настоящем контексте интересно будет привести замечание, сделанное Нейраком, что «в биологии организация управляется группой атомов, особо хорошо организованной и при этом представляющей собой количественно лишь малую часть управляемой ею материи». С точки зрения физиологии активности эта малая часть есть, очевидно, пункт или область наиболее интенсивных антиэнтропических процессов, говоря математически — пункт наибольших (отрицательных) градиентов энтропии открытой системы организма (цит. по P. Nayrac. *Les modeles en biologie*, Nucleus, 1963, № 1). См. также R. Wagner. *Probleme und Beispiele biologischer Regelung*, Stuttgart., 1954; П. К. Анохин. *Проблемы центра и периферии*. Горький, 1935; он же. *Вопросы психологии*, 1955, № 6; Н. А. Бернштейн. *Очередные проблемы физиологии активности*. *Проблемы кибернетики*, 1961, в. 6, стр. 101; Л. В. Чхaidзе. Там же, в. 8, стр. 309 и др.

ветственными рецепторами и сигнализируются по каналам обратной связи в приборы сличения, которые сопоставляют прибывающую информацию с текущими значениями зольверта и определяют меру рассогласования Δw .

Процессы сличения и оценки имеют место отнюдь не только в случаях сопоставления величин S_w и I_w . Они встречаются в весьма разнообразных формах и проявлениях также при сопоставлении различных I_w , одновременных либо последовательных, например, в явлениях, связанных с порогами различения рецепторов. И по отношению к этим случаям целесообразно обобщить результаты сравнений и сличений под общим символом Δw .

Но теперь возникает вопрос, какую именно функцию представляет собой эта величина Δw , каким алгоритмом или алгоритмами она определяется. Имеет ли здесь место

$$\Delta w = I_w - S_w \text{ или } \Delta w = \frac{I_w - S_w}{S_w} \text{ или } \Delta w = \log \frac{I_w}{S_w}$$

Что это, вообще, за функция $\Delta w = f(I_w, S_w, I'_w, I''_w \dots)$? Одинакова ли функция Δw ? по своей глубинной структуре и свойствам в разных управляющих системах организма и правдоподобно ли, чтобы здесь, наоборот, выявлялись многие механизмы, не имеющие между собой ничего общего, а тем самым и различные алгоритмы?

Как известно, попытки выявить математический смысл величины Δw ; делались уже давно и многократно, но обычно они оказывались не более как грубоватой аппроксимацией. К числу этих попыток надо отнести и «закон» логарифмической зависимости Вебера и Фехнера, испытывавшийся на рецепторах всех видов, и характеристики тех тонких разновидностей воспринимающих приборов, которые были в самое недавнее время обнаружены бионикой и показали себя отзывчивыми и на первую, и на вторую производную раздражения, и на «on», и на «off» и т.д.

Вот тут и возникает вопрос, интересный и вполне своевременный. Если величина или функция Δw (включающая также и нижний порог раздражимости) до настоящего времени формулировалась, с большим или меньшим успехом и приближением, лишь с чисто вычислительных позиций, импонируя наблюдателям то как арифметическая разность, то как логарифм, то как расчетный элемент шенноновских формул, $w \cdot \log w$ и т.д., то: 1) не является ли она в действительности единым видом математической зависимости, до сих пор не поддававшимся аналитическому изображению, и 2) не проистекает ли математическая неуловимость функции Δw из того, что она и не может быть принципиально изображена средствами существующего математического аппарата?

Обобщение, внесенное в свое время алгеброй в породившую ее арифметику, состояло в замене числовых номинаторов этой последней на обобщенные буквенные. Не своевременно ли поставить на службу биологической математике дальнейшее обобщение, которое так или иначе и само уже брезжит и проявляется в самых различных разделах математики — на этот раз алгеброподобное обобщение операторов? Если применительно к разбираемому частному вопросу о функции сличения констатировать, что функция $\Delta w = (Iw_1) \times (Iw_2)$ представляет собой результат сопоставления величин Iw , сравниваемых по оператору X , то уже наперед можно сказать, что с наибольшей вероятностью этот оператор X окажется чем-то далеким от давно утвердившихся и создававшихся для других задач и целей операторов алгебры. Пойдет ли разработка новых, обобщенных или «алгебраизированных» операторов по путям, намечавшимся Абелем и Галуа и характеризуемая Бурбаки в их историческом очерке¹? Окажутся ли адекватными для вопросов, возникающих здесь, идеи, мелькавшие еще перед взором Лейбница, идеи о возможности существования производных $\frac{d^a y}{dx^a}$ при любых нецелочисленных значениях их порядка a , сейчас невозможно предвидеть. Может быть, придется снова обратиться к идеям Бореля о *nombres et fonctions pratiquement incalculables* (даже *fonctions pathologiques!*)², или наиболее гибким аппаратом окажется теория произвольных функций, уже принесшая немалую пользу физике³. Все это ожидает выяснения и, конечно, будет выяснено совместными дружными усилиями биологов и математиков.

¹ Н. Бурбаки. Очерки по истории математики. ИЛ., 1963, стр. 69—71, 201.

² E. Borel. *Leçons sur la theorie des fonctions*, p. 109. 118, 218.

³ Н. Лузин. Интеграл. 1915, стр. 211; А. Я. Хпнчин. Метод произвольных функций. В сб.: *Философские вопросы современной физики*. Изд. АН СССР, 1952, стр. 522; E. Borel. *Leçons etc.*, p. 132.

Советские люди первыми осуществили одно из дерзновеннейших мечтаний человечества — освоение космического пространства, и если у кого-нибудь и могли быть хоть какие-то сомнения в силе и глубине нашей науки, то после 12 апреля 1961 г. они оказались похороненными. В кратчайший срок, четко и уверенно, советские ученые решили широчайший комплекс проблем, связанных с выводом на орбиту космических кораблей-спутников, сохранением жизнеспособности космонавта и возвращением его на Землю. Никто не собирается умалять заслуги и американских ученых, также, пусть заметно позднее, решивших эти проблемы, но приоритет советской науки совершенно бесспорен.

Проблемы вывода кораблей на орбиту распадаются в основном на две группы — технические и медико-биологические. Если решение первых хоть в какой-то мере поддавалось предварительным расчетам, то разработка большинства вопросов, связанных с жизнедеятельностью космонавта в полете, могла быть осуществлена не иначе как экспериментальным путем и при том, естественно, до фактического выхода человека в космос.

Из всего такого комплекса медико-биологических проблем следовало особо выделить вопрос о координации произвольных движений космонавта в полете. Под этим термином понимается способность человека управлять своими движениями так, чтобы сохранить в полной мере возможность выполнять навыки, требуемые для управления космическим кораблем и для поддержания жизнедеятельности собственного организма.

В этом именно узком плане и ставился первоначально вопрос. Но в действительности проблема оказалась гораздо шире.

В самом деле, можно ли говорить об образовании двигательных навыков, о навыковом комплексировании действий человека совместно с машиной, наконец, о средствах и возможностях переключения этих навыков в высокоответственных и никогда притом не испытанных человеком условиях космического полета, если не иметь достаточных физиологических сведений о том, что такое двигательный навык вообще и какими механизмами обуславливается его пластичность и переключаемость?

Нужно сказать прямо, что даже в первые десятилетия текущего века физиология еще не имела ответов на оба эти вопроса. Дело осложнялось еще и тем, что нетерпеливая ищущая мысль ученых с готовностью подставляла на место действительных, надежных данных непроверенные гипотезы, которые зачастую оказывались хуже простого незнания, потому что вводили научную мысль в сторону от правильного пути.

Однако наша отечественная наука смогла за последний период времени прояснить долго остававшиеся в забросе проблемы физиологии движений в степени, достаточной для того, чтобы к моменту рождения советской космонавтики уверенно ответить на связанные с последней физиологические задачи. Но и эти ответы, и вытекающие из них практические выводы стали возможными только в результате огромных, революционизирующих переворотов, испытанных за последнее время в области самых коренных, самых фундаментальных воззрений общей физиологии и даже биологии в целом.

Эти-то перевороты, впервые создавшие прочную научную базу для главнейших задач космонавтики, необходимо будет осветить в кратких чертах в настоящем предисловии, однако сперва нельзя не отметить еще нижеследующее.

Ни у кого, конечно, не может возникнуть сомнения в том, что величина гравитационного поля Земли в ходе многомиллионнолетней эволюции человека и животных наложила свой отпечаток на такое чисто физическое явление, как их перемещения в пространстве, т.е. на произвольные движения как конечностями, так и телом. Следовательно, решение вопроса о том, сохранит или нет будущий космонавт координированное выполнение навыков, ранее «отработанных» на Земле, когда это поле станет нулевым, оказалось связанным с деятельностью сокровенных центральных механизмов, управляющих нашими жизненными функциями и давно приспособившихся к определенным условиям этого управления. Это во-первых. Во-вторых же, немедленно возникал другой вопрос, не менее важный — что сделать, как физически готовить космонавта, чтобы хоть в какой-то мере восстановить эту его важнейшую функцию, если, как можно было ожидать, она нарушится. Наконец, не менее важно было установить, каковы пределы и другие закономерности этих нарушений. Иначе решение второго вопроса стало бы невозможным. Как легко видеть, решение всех этих проблем допустимо лишь экспериментальным путем и только на человеке, поскольку речь идет о движениях, связанных с функциями, присущими высшей нервной деятельности именно человека. Но для этого следовало прежде всего воспроизвести в лабораторных (или близких к ним) условиях самую важную часть будущего космического полета — нулевое гравитационное

поле. А как же ставить эти эксперименты, как вести соответствующие наблюдения, если как раз воспроизведение невесомости на сколько-нибудь длительный срок, нужный для адаптации физиологических процессов в земных условиях, невозможно. Следовало искать иных путей. Как они были найдены, читатель узнает из предлагаемого труда д-ра биологических наук Л.В. Чхаидзе; сейчас важнее отметить другое. Каким бы путем ни пошел исследователь, он прежде всего должен был иметь основную теорию данной проблемы — знание путей и закономерностей управления человеком своими конечностями в нормальных, земных условиях и лишь потом разрабатывать вопросы, связанные с нарушениями координации движений при изменениях гравитационного поля.

Эти проблемы до сих пор еще не решены, и автору исследований пришлось прежде всего подвести ряд итогов в теоретической области. Поскольку основные принципы, положенные Л.В. Чхаидзе в разработку проблемы, оказались не только жизнеспособными и помогли достигнуть поставленных целей, но и, на наш взгляд, могут иметь значение для решения других вопросов, связанных с координацией движений человека, остановимся на них подробнее.

Пережившая период расцвета и дряхлеющая теория может разрушиться и выйти из строя, прежде всего, в том случае, когда она вступит в непримиримое противоречие с потоком новых фактов и отношений, выявляющихся в экспериментах. Иногда — постепенное накопление данных, не укладывающихся в старую теорию, иногда — один-единственный факт или феномен, поражающий ее в самое сердце, оказываются причиной необходимости ее безотлагательной смены; иногда, наконец, науке приходится долго ждать того момента, пока появится на поле битвы гениальный прозорливец, который сумеет найти и сформулировать свежую, мощную концепцию, убивающую прежние взгляды уже одним фактом своего неоспоримого преимущества перед ними.

Так было, например, с крушением беспринципной, сложной и ничего не объясняющей астрономической системы Птолемея, которая не могла выстоять против ясной и убедительной теории Коперника и Кеплера. То же, двумя столетиями позже, случилось с теорией флогистона или теплорода: открытия Ломоносова и Лавуазье, а за ними — открытие кислорода, приведшее к правильному истолкованию процессов горения, быстро и неоспоримо выявили всю абсурдность концепции флогистона с отрицательным весом. Такое же бесповоротное крушение испытали, уже на рубеже текущего столетия, концепции ньютоновских абсолютных пространства и времени, не смогшие выдержать конкуренции ни с новыми опытными данными, ни, главное, с гениальными обобщениями Эйнштейна.

В других случаях смена естественнонаучных теорий совершается не столь революционно, как было в приведенных выше исторических примерах. В случаях этой группы замена старой теории происходит не потому, что вскрылась какая-либо ошибочность или неправомерность этой теории. Приходящая на смену ей молодая концепция берет над ней верх либо потому, что ей оказывается под силу обобщить, охватить единой формулировкой гораздо более широкий круг явлений, чем прежде, либо благодаря тому, что она оказывается обладающей гораздо большей эвристической силой. Ярким примером такой обобщающей теории является теория электромагнитного поля, созданная Максвеллом на основе обобщения фактов, открытых Фарадеем и Эрстедом. Появление этой теории, знаменитых Максвелловских уравнений, позволило охватить единой формулировкой такие области физики, которые до этого трактовались как совершенно разные между собой разделы. Теория Максвелла смогла обзреть, как с птичьего полета, разом и учение о свете, и теорию лучистой теплоты, и электромагнитную индукцию, и прямо привела к предсказанию волн, открытых Герцем и легших в основу радиотехники.

Не менее выразительный пример сказанному дает создание кинетической теории газов и растворов, которая также ничего не опровергла и не уличила в ошибках, но открыла такие широкие пути к предсказанию и обнаружению новых закономерностей, которые и не мыслились до ее появления.

Тот перелом, который переживает в наши дни биология, со всем кругом входящих в нее наук о живой природе, явственно принадлежит также к этой группе ревизии и углубления старых понятий. Самая выразительная черта этого процесса — в непрерывно возрастающем на наших глазах богатстве обобщений, прямо наводящих исследователя на новые эксперименты и поиски; наряду с этим тот же переломный процесс рождает новые понятия, термины, формулировки, которые встают на службу науке в роли более совершенных, сильных и строгих орудий научного прогресса. На первом месте среди этих орудий стоит та совокупность теоретических и прикладных направлений, которая объединяется под названием кибернетики.

Каждая наука перерастает стадию чистого эмпиризма и становится наукой в точном смысле слова в тот момент, когда она оказывается в состоянии четко применить к каждому явлению в своей области два определяющих вопроса: 1) как происходит явление и 2) почему оно происходит. Первый вопрос побуждает к поискам сперва качественных описаний, а затем и количественных характеристик явлений. Второй вопрос требует постановки всех суждений об этих явлениях на почву строгой причинности и ведет к формулированию законов протекания и зависимости

этих явлений, тоже в начале — качественно описательных, а в дальнейшем — облеченных в строгие формы математических моделей установленной причинной зависимости.

Достаточно проследить историю возникновения и развития любой науки в неживой природе, чтобы убедиться в справедливости сказанного. В одних науках эти моменты переключения на пути точного описания явлений («как»), а затем выявления их причин и зависимостей («почему») наступали раньше, в других — позже, но, по-видимому, к нашему времени нет уже ни одной науки о неживой природе, которая не владела бы уже в полной мере обоими кардинальными вопросами в своей методологии.

Биологические науки: физиология, патология, психология и генетика в лице своих самых сильных деятелей и методологов стремились подчинить явления наблюдаемых ими областей тем же двум кардинальным вопросам. По линии вопроса «как», при всей сложности и трудности точных количественных описаний жизненных явлений, неуклонно прогрессировали и техника наблюдения, и совершенство измерительных приборов. По линии причинности, хотя тоже с преодолением трудностей на много больших, чем в науках о неживой природе, но все же непрерывно обогащался фонд утверждений, безусловно выявлявших причинные связи явлений между собой и даже допускавших (правда, не часто) количественные, математические формулировки.

Но чем далее, тем отчетливее стала проступать в науках биологического цикла одна поразительная черта. В физике, в химии, в астрономии, где только удавалось обнаружить и выразить причинный закон тех или иных явлений, этот закон оказывался безоговорочно определенным, и для данной стадии глубины познания — исчерпывающим и строгим. В биологии же, при каждой попытке формулировки закона явлений, либо никак не удавалось перевести такой закон в математически строгую форму, либо нельзя было не почувствовать, что в нем не хватает чего-то весьма существенного, может быть, даже решающего. Пробовали, и неоднократно, объяснять эту «скользкость» биологических формулировок огромной сложностью вопроса и избытием привходящих переменных, но нельзя было не заметить, что дело глубже и принципиальнее. То, что по всем признакам казалось законом (в физиологии, психологии и т.д.), бывало, как правило, совершенно лишено предсказательной силы, и потому, рано или поздно, приводило с неизбежностью в теоретический тупик. Самый же грозный критерий годности концепции, претендующей на звание закона, — ленинский критерий проверки через практику, — в очень высоком проценте случаев приводит к выводу, что с законом здесь что-то не в полном порядке.

Многочисленные наблюдения и факты во всевозможных проблемах биологии указывали ученым, еще в прошлом столетии, на неоспоримую целесообразность механизмов и систем, присущих живым организмам. Эта целесообразность бросалась в глаза как резкое, может быть даже решающее, отличие живых систем от каких бы то ни было феноменов неживой природы. Сам собой неминуемо напрашивался вопрос: «для чего» существует и служит то или иное приспособление в организме, к какой цели оно направлено, какую задачу, четко доступную наблюдению, оно предназначено решать. Во все большей мере стала откristаллизовываться мысль, а не потому ли биолога постигает неудача или неудовлетворенность при попытке решения того или иного вопроса, что применительно к биологическим объектам, кроме вопросов «как» и «почему», исчерпывающе достаточных в физике или в химии, необходимо добавить еще третий вопрос: «для чего»?

Этот вывод не мог не пугать механистов-материалистов 19-го столетия. Допустимо ли считать, что цель действия – нечто такое, что должно осуществиться, стать реальностью, только в будущем времени, – может являться причиной наступления этого действия? Причина – позднее, чем ее следствие! Только идеалистическому финализму (казалось) под стать и приемлемы такие антиматериалистические построения.

В некоторых случаях, путем поистине гениального хода мысли, удавалось полностью обосновать и объяснить целесообразность жизненных проявлений, не выходя за пределы вопросов «как» и «почему». Это сумел, например, сделать Дарвин с помощью созданных им концепций борьбы за жизнь и переживания наиболее приспособленных (*survival of the fittest*). Действительно, здесь, не переступая границ строгого закона причинности, было возможно показать, как чисто случайные явления наследственно передаваемых мутаций могут быть отсеяны и превращены в целесообразные усовершенствования организмов и в определяющие факторы эволюции. Но нельзя не заметить того, что, во-первых, среди необозримого круга проблем биологии построения, подобные дарвинизму, являются скорее нечастым исключением, нежели общим правилом; а, во-вторых, и в самой системе дарвинизма стали, чем дальше, тем в большем количестве, проступать «белые пятна» недовырешенных вопросов, неясностей и прямых необъяснимостей.

Между тем, наличие не только статичной целесообразности, но и проявлений динамичной, активной целеустремленности во всех областях, относящихся к ведению биологии, стало делаться уже совершенно неоспоримым. Первые же истоки кибернетического изучения вопросов управления, регулирования и связи сразу отметили глубокий параллелизм между искусственными системами саморегуляции и устройствами, на-

блюдаемыми на живых объектах. Но ведь искусственные устройства этого рода создаются человеком с определенной целью, как бы обогащая собой возможности самого человеческого организма, становясь надстроенными над ним более мощными и эффективными органами человека; путь к достижению цели каждым из таких устройств осуществлен и закодирован в виде заложенной в него программы функционирования. Теснейшая и формально-конструктивная и целевая аналогия между этими преднамеренно создаваемыми системами и системами управления и регуляции в организмах прямо устремляет нашу мысль к тому, чтобы признать и за органами и системами последних несомненную и решающе важную целенаправленность, а тем самым — полную правомерность по отношению к ним вопроса «для чего».

Но параллели, обнаруженные и исследованные кибернетикой, позволили перешагнуть через ту самую методологическую трудность, которая казалась непреодолимой механистически мыслящим материалистам прошлого века.

Цель, находящаяся в предстоящем, не может, сама по себе, являться причиной явлений и действий, происходящих сейчас. Это неоспоримо для нас в той же мере, как было и для наших предшественников сто лет тому назад. Но нам теперь известно, и было многократно проверено на искусственных системах саморегуляции, что такая, еще только предстоящая, намеченная на будущее задача или цель может быть закодирована и заключена в «память» устройства в виде модели ее, реально существующей в настоящем времени. И эта кодированная «модель потребного будущего» (как я назвал ее в одной из предшествующих работ), и программа действия, направленного на разрешение данной задачи, на достижение цели, возникают раньше, чем то действие, которое они совместно обуславливают. Закон причинности, таким образом, не терпит никакого ущерба, и идея целесообразности и целеустремленности организмов, решающим образом отличающих последние от феноменов неживой природы, может прочно покоиться на фундаменте диалектического материализма. Это то, чего не знали и не могли еще знать наши предшественники — биологи.

Однако важнейшая черта всех живых систем, функционирующих на базе трех описанных выше вопросов (т.е. также вопроса «для чего»), стала выясняться позже других, несмотря на то, что именно она, возможно, является самой главной и определяющей. Этой черте следует присвоить название активности (физиологической и биологической).

Чем в наибольшей степени характеризуется целеустремленность? Организм все время находится во взаимодействии с окружающей его средой, внешней и внутренней. Если его движение (в обобщенном смысле) имеет

одинаковое направление с движением среды, оно осуществляется гладко и бесконфликтно. Но если программное движение к определенной цели требует преодоления среды, организм щедро отпускает негэнтропическую энергию на такое преодоление, пока он или восторгается над средой, или погибнет. Среда, как это термодинамически присуще всем неживым совокупностям, движется всегда в направлении возрастания энтропии; организм в своем онтогенетическом развитии и формировании, и в своей активности по ходу жизни движется, как правило, антиэнтропически, достигая повсюду крутого снижения энтропии в самом себе и в преодолеваемом окружении. Разумеется, такой результат достигается благодаря тому, что организм как открытая система покупает этот негэнтропический эффект ценой метаболического повышения энтропии окисляемых и разрушаемых им продуктов обмена веществ, которые он выводит наружу.

Теперь можно считать полностью понятным, почему биологов, ограничивавших себя только вопросами «как» и «почему», каждый раз постигала неудача. Здесь можно было бы привести очень много выразительных примеров; я ограничусь одним, как наиболее близким к теме настоящего предисловия и всей монографии д-ра Л.В. Чхаидзе. Это пример рефлекторной теории.

Теория рефлекса (по схеме дуги) считала возможным рассматривать этот механизм как основной кирпич, из монтажа которого с другими подобными следует надеяться построить полную теорию поведения. Эта уверенность в особенности укрепилась после павловского открытия феномена условных замыканий, т.е. весьма гибких переключений рефлекторных дуг безусловных рефлексов. Рефлекс по схеме дуги — это ведь в самой строгой форме модель закона причинности: раздражение и его путь по афферентной полудуге — причина, реакция и путь ее следования по эффекторным нейронам — ее обязательное следствие. Отсюда вытекало, во-первых, что все преобразование благоприобретенных рефлексов, все накапливаемые в течение жизни условные замыкания целиком определяются теми воздействиями из среды, которые сообщаются мозгу по афферентной полудуге, т.е. что организм идет фактически на поводу у среды и ее воздействий. Во-вторых же, это давало повод к формулировкам, которыми широко пользовался И.П. Павлов: жизнь есть взаимодействие организма со средой и притом уравнивание с этой средой. И то бесспорное обстоятельство, что, хотя бы посредством движений, организм не просто взаимодействует со средой, а активно воздействует на нее, добиваясь изменения ее в потребном ему отношении; и тот факт, что жизненная динамика только и возможна, когда есть налицо недоуравновешенный остаток, говорят против этих прежних формулировок. Не равновесие со средой, и не уравнивание с ней

определяют жизнедеятельность и поведение каждого организма, а та модель потребного ему будущего, которая является двигателем того и другого и, повинувшись которой, организм, можно сказать, не придает значения тому, придается ли в направлении к намеченной цели двигаться по течению или против течения. Он движется всю свою жизнь, несмотря ни на какое «течение» в воздействующей на него среде.

Очень характерным пробелом в рефлекторной теории, прямо обусловленным непринятием в расчет вопроса «для чего», является трудность трактовки в ее рамках важнейшей функции обобщения. Когда у животного вырабатывается новый рефлекс путем повторных предъявлений ему условного стимула с соответствующим подкреплением, то, как известно, в первой фазе его формирования имеет место иррадиация, т.е. неразборчивость нервной системы к целой широкой группе сходственных раздражителей. Легко убедиться, что такая иррадиация не имеет ничего общего с явлением обобщения, — уже потому, что иррадиация быстро преодолевается в последующих фазах выработки и сменяется на концентрацию, которая одна только и делает объяснимым факт создающихся в дальнейшем очень чутких дифференцировок. Таким образом, иррадиация предстает перед нами в этом процессе как безусловно отрицательное явление, которое образно лучше всего сравнить со снимком, расплывчатым вследствие плохой наводки на фокус. Наоборот, обобщение есть ярко положительный, существенный для индивида комплекс механизмов. Собственно говоря, никакой благоприобретенный (условный) рефлекс, при самой тонкой его дифференцировке, не обогащает сам по себе жизненного опыта особи, оставаясь чем-то эпизодическим и не включенным ни в какую классификацию, пока не начнет функционировать процесс обобщения. Этот процесс всегда активен: его классифицирующая функция возможна не иначе как при наличии направляющих для классификационного отнесения; а эти направляющие могут найти объяснение своего происхождения только по линии вопроса «для чего». Любое множество элементов, вообще говоря, может быть систематизировано и расклассифицировано десятками способов; чем же обуславливается то, что организм каждый раз избирает одну определенную схему упорядочивания множества воздействий окружающей среды, если он не базирует свой выбор на целевой значимости, т.е. именно на категории «для чего?».

П.К. Анохиным описан под названием «акцептора действия» механизм, несомненно связанный с этой группой центрально-нервных механизмов. Задача акцептора, по Анохину, — в определении того момента, когда требовавшийся результат действия достигнут, и в отдаче подчиненным аппаратам команды об остановке. Но, очевидно, информация,

поступающая в такой акцептор с периферии, от работающих органов и объектов их воздействия, должна быть для срабатывания этого механизма акцептации сличена с ранее выработанной внутренней информацией. Легко понять, что источником этой последней может являться только «модель потребного будущего», о которой было сказано выше.

Попутно заслуживают упоминания сравнительно высокоорганизованные животные (а равным образом и растения), у которых эта кодовая модель будущего несомненно становится более сложной, расчлняясь по сути дела на две модельные формы. В других работах я обозначил эти две сосуществующие модели как 1) модель потребного и 2) модель вероятного (прогнозируемого) будущего. Только на самых низших ступенях развития (одноклеточные организмы, низшие черви и т.п.) организм «знает», что для него нужно, но движется по направлению к своему потребному будущему, так сказать, напролом, на основе самой примитивной ориентировки. Высшие организмы проявляют свою активность, опираясь на вероятностное прогнозирование того, куда направлены текущие изменения в окружающей среде и какие внезапные (высокоинформативные) явления следует с известной вероятностью учитывать заранее. Наряду с животными неоспоримые прогностические механизмы имеют место и у растений, и не случайно опытный агроном или лесовод делает заключения о предстоящих переменах в метеосфере по заблаговременным реакциям тех или иных растительных видов: складыванию листьев, смыканию цветочных чашелистиков, пониканию или распрямлению стебля и т.п.

Схема управления двигательными актами, предложенная в свое время Л.В. Чаидзе и подробно обосновываемая в первой части настоящей книги, заслуживает серьезного внимания благодаря впервые отмеченным и подчеркнутым им существенным характеристикам этого управления. Все изложенное выше относительно физиологической активности и моделирования будущего было необходимо именно для того, чтобы обоснованно выявить то ценное, что отмечается этой схемой.

Скажу здесь сразу, что в известной мере уязвимым местом схемы Чаидзе несомненно является ненужно схематизированное резкое разграничение между собой не только первичных информационных потоков от экстероцепторов и от проприоцепторов, но и их дальнейших внутримозговых маршрутов, вплоть до замыкания соответственных рефлекторных колец. Такое разделение неправомерно прежде всего потому, что первичные афферентные потоки уже в самых низовых клеточных ядрах мозга преобразуются самым существенным образом (для зрительной функции, например, такое глубокое изменение совершается уже в нервных клетках самой сетчатки глаза). Центральных аппаратов, выполняющих действи-

тельные функции управления и координации, достигают уже глубоко и активно переработанные сенсорные синтезы, в которых срастаются между собой до неузнаваемости обработанные в низовых ядрах сигналы от всевозможных видов периферических рецепторов. Но, конечно, не в этом суть дела, и уточнение схемы в указанном отношении отнюдь не имеет значения какого-либо принципиального изменения и не затрагивает того реально существующего, что дается этой схемой. Это существенное заключается в следующем.

Та очередная модель необходимого будущего, которая обуславливает собой инициативу и запуск отвечающего ей действия, направляет собой главную смысловую планировку этого действия. В одной из работ я сравнил этот процесс планирования действия со своеобразной интерполяцией, — с определением тех последовательных стадий или этапов действия, которые необходимы для достижения требуемого результата. Но очень важной чертой такой планирующей интерполяции является всегда ее обобщенность. Руководящий центр, намечающий (или, по Чхаидзе, «задающий») план действия, его смысловую структуру и, отчасти, его двигательный состав, никогда не спускается до буквальной детализации элементов двигательного акта. Можно сказать, что его продукцией является не та или другая отдельная функция, а целый пакет или семейство функций, объединяемых и обобщенных по какому-то принципу. Принцип этот, заметим, всегда в конечном счете избирается как возможный ответ все на тот же вопрос «для чего».

Конкретизация такого обобщенного приказа, выбор того или другого частного решения в сообразовании с обстановкой, наконец, процесс непрерывающегося координационного сличения текущей афферентной сигнализации с требованиями программы, — все это достается на долю подчиненной инстанции (или, может быть, целой иерархии инстанций), ведущей и корригирующей движение, обеспечивая его правильность и целесообразность.

Ценность схемы, предложенной Л.В. Чхаидзе, как раз и состоит в четком разграничении обоих командных аппаратов с указанием отношения подчиненности между ними. Фигурально можно позволить себе сказать, что новое и ценное заключается в верхней половине рассматриваемой схемы, ни мало не теряющей своей значимости от тех коррективов, в которых нуждается ее нижняя часть.

Важнейший факт обобщенности тех верховных команд, которые определяются в результате активного моделирования действия, может быть доказан и подкреплён очень широким кругом наблюдений. Прежде всего, следует вспомнить здесь о феноменах переключений и перестроек внутри

нервной системы. Как мы видели, рефлекторная концепция является в вопросах, касающихся осмысленных обобщений, совершенно бессильной. Почти пассивное накапливание единичных элементов опыта жизни, которое только и может проистекать из условных замыканий, случайно приобретаемых то там, то сям, может объяснить нам, самое большее, ту или иную форму интерполирования между этими элементами. Но той обязательной экстраполяции, которая необходима для каждого умозаключения по индукции, рефлекторная концепция объяснить не в состоянии.

Между тем, опыты показывают, что живое существо, попав впервые в жизни даже в условия, в которых заведомо никогда ранее не оказывалось ни оно само, ни его предки, — чрезвычайно быстро, нередко прямо сразу, перестраивается во всю меру необходимости для действия в этих условиях, как бы они ни были сами по себе необычны или прямо чудовищны. Если просмотреть, хотя бы бегло, обширный список экспериментов на всевозможных видах животных, как позвоночных, так и членистоногих, с тем или иным изувечиванием их органов передвижения (опыты Бэте, Гольдштейна, Тренделенбурга, Асратяна, Анохина и др.), то во всех этих опытах явственно проступает одна черта, общая для всех наблюдавшихся результатов. Необходимая для восстановления локомоции координационная перестройка наступает у подопытных животных либо сразу (немедленно после травмы — у насекомых, или после заживления операционной раны — у млекопитающих), либо же, во всех остальных случаях без изъятия, — во много раз быстрее, чем вырабатывается у тех же видов животных любой лабораторный условный рефлекс. Бэте ампутировал у жуков по одной, по две и даже по три конечности из шести, и каждый раз на место присущей этому насекомому точной программы ритмического чередования ног при ходьбе — мгновенно, без подготовки или упражнения — являлась на сцену новая программа, резко по необходимости отличающаяся от естественной, но вполне слаженная и годная для выполнения локомоции. Конечно, было бы абсурдом предположить, что у данного экземпляра насекомого (и, стало быть, у всех особей этого вида, так как любая из них могла оказаться объектом ампутационного опыта) изначально, с момента рождения, заложены где-то в долговременной памяти координационные программы для всех мыслимых вариантов подобных ампутаций, — этого не могла бы объяснить никакая теория эволюционных приспособлений.

В опытах на собаках и кошках (Асратян, Анохин с сотр.) как с ампутациями, так и с экспериментальными перекрестами сухожилий сгибателей и разгибателей на одной из конечностей перестройка на уверенную локомоцию, правда, не совершалась сразу (что может объясняться, по-видимому, более сложными условиями координации движений у позвоночных жи-

вотных по сравнению с членистоногими), но во всех случаях и при всех вариантах опыта осуществлялась значительно быстрее, чем выработка любого слонного условного рефлекса у тех же животных. Очевидно, что по любой схеме из числа стремящихся объяснить все явления поведения через посредство условных замыканий дело должно было бы обстоять наоборот: синтез, или структура, или цепь из условных рефлексов никак не могла бы образовываться в целом быстрее, чем каждый входящий в нее новообразуемый условный рефлекс по отдельности. Значит, объяснение — не в этом.

Я упомяну здесь всего лишь в нескольких словах о фактах, подробнее проанализированных мной в других работах, фактах, несравненно менее экзотических и травматических, но не менее доказательных. Если человек пишет один раз пером на бумаге, другой раз — мелом на вертикальной классной доске, один раз — мелко, другой — крупно и т.д., этот процесс выполняется им в каждом из случаев посредством иной кинематической цепи и другими наборами мускулатуры; между тем, во всех этих случаях облик его почерка сохраняется с точностью, не оставляющей никаких сомнений в принадлежности этого почерка данному лицу. Но, более того: если осуществить на человеке своего рода модель ампутации, укрепляя карандаш у его запястья или локтя, или предлагая ему зажать карандаш в зубах, как если бы он был вовсе лишен руки, и то, при всех подобных вариантах опыта, вплоть до самых диковинных, вроде писания носком левой ноги и т.п., почерк, присущий данному индивиду, выявляется сразу вполне отчетливо и без всякой предварительной тренировки. Буквы получаются угловатыми, линии — нетвердыми, но существенные черты почерка, его индивидуальный характер выявляется без всякой натяжки.

Насколько и эти последние, чисто внешние координационные дефекты могут изгладиться после тренировки, показывают сохранившиеся в моей коллекции образцы письма бездвухруким инвалидов: в этих образцах письмо, выполненное ручным протезом, писание карандашом, зажатым в зубах, и письмо носком правой ноги почти невозможно отличить одно от другого.

Все приведенные и рассмотренные выше примеры, в полном взаимном согласии вытекающих из них следствий, говорят об одном капитальном факте: об огромной и целесообразной обобщенности тех команд, которые задаются верховной управляющей инстанцией подчиненным приборам конкретного координационного руководства движением или действием. Не элементы (рефлексы) являются первичным материалом, из которого безуспешно стараются построить обобщающие команды в качестве вторичного результата. Дело, по всем данным, происходит как раз наоборот, и любая детализация программы двигательного акта должна рассматриваться

как частное следствие порождающей ее, широко обобщенной и целесообразно упорядоченной командной матрицы управления.

Мысль о том, что вышестоящие центры управления осуществляют свою функцию путем спуска в низовые приборы (в данном случае – спинномозговые) своего рода командной матрицы, оставляющей этим низовым центрам широкую возможность приспособительного маневрирования, была в самое недавнее время высказана и облечена в математическую форму И.М. Гельфандом, В.С. Гурфинкелем и М.Л. Цетлиным. Концепция этих авторов, помимо своего полного созвучия с высказанным выше, интересна и эвристически плодотворна тем, что процессы, протекающие в низовых аппаратах в рамках спущенных к ним матриц, реализуются по их представлению в близкой формальной аналогии с процессами, изучаемыми теорией игр. Как возникшая два столетия тому назад теория вероятностей в начале мыслилась только как пособие для азартных и поллазартных развлечений, а впоследствии оказалась мощным средством изучения множества физических явлений, так на наших глазах случилось и с математической теорией игр. Далеко опередив свою первоначальную задачу, отраженную в ее названии, эта теория стала в настоящее время одним из ценнейших орудий кибернетического анализа. Особенно ценной, по понятным причинам, является она в вопросах физиологии и биологии активности: ее проблематика относится ко всем вопросам борьбы, конфликта с окружением, активного преодоления этого окружения и т.д. Таким образом, мы видим, как проблематика активности все глубже вырастает в физиологический анализ, в вопросы координации, поведения, центрального управления и т.д.

Экспериментальная часть настоящей книги Л.В. Чхаидзе неоспоримо относится к проблемной области переключений и центральных перестроек, о которой шла речь в последних абзацах этого предисловия. Но при этом она представляет совсем особый интерес, подвергая двигательную координацию человека исследованию в условиях, совершенно своеобразных и заведомо никогда не испытывавшихся ни подопытными лицами, ни их предками во всем филогенезе. Тот факт, прямо подтверждаемый настоящим исследованием, что, несмотря на всю экзквизитность условий, в которых оказывается субъект в этих опытах, координация устанавливается и регулируется у него быстро и точно, – этот факт находит себе самое прямое объяснение в тех общих положениях, которые были сформулированы выше. В практическом, прикладном плане этот факт указывает на то, что координационные перестройки, связанные с нахождением человека в резко измененных условиях гравитации, безусловно не окажутся в его программе приспособления к космическому полету узким местом. В теоретическом

же отношении представляется правомерным рассматривать вдумчивое и тщательно проведенное исследование Л.В. Чхаидзе как ценный и убедительный вклад в теорию двигательной координации и управления двигательными актами. Разумеется, сделаны пока лишь самые первые шаги, но ведь не только данному исследованию, а и самой космонавтике возраст приходится исчислять совсем немногими годами. Дальнейшие углубленные экспериментальные исследования и уточненные математические модели в обсуждаемой области уже вскоре существенно обогатят наши теоретические представления по физиологии и биомеханике активности, а будущему разрастающемуся племени дерзновенных героев космонавтики послужат ценным подспорьем в их подготовке к дальним космическим перелетам.

**Проблемы моделирования в биологии активности:
Математическое моделирование жизненных процессов:
Сборник статей. — М.: Наука, 1968. — С. 184-197.**

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В БИОЛОГИИ АКТИВНОСТИ

Нашему поколению физиологов и биологов выпало на долю оказать-ся современниками и участниками бурно совершающегося перелома во взглядах по всему обширному кругу биологических наук. Этот переломный процесс во многих отношениях затрагивает самые глубинные методологические вопросы и неотрывно связан с принципиальным пересмотром всего обветшалого и отжившего, уже успевшего отыграть свою былую роль двигателя научного прогресса.

Самая выразительная черта этого переломного процесса — в непрерывно и быстро возрастающем богатстве обобщений, наводящих на новые эксперименты и поиски. Попутно этот процесс порождает новые понятия, термины и формулировки, оказывающиеся более совершенными, сильными и строгими орудиями научного прогресса, нежели те, которыми располагала предшествующая эпоха. Самое видное место среди этих новых орудий занимает кибернетика, в немалой мере благодаря огромному расширению созданных ею ресурсов научного моделирования.

Совершенно своевременно поставить вопрос: может ли путь физиологического моделирования принести реальную научную пользу, а какие направления и пути следует отнести к ложным и бесполезным?

Историю исследовательского моделирования приходится начинать едва ли не с Декарта. Каждое очередное достижение научно-технической мысли привлекало и настраивало мышление физиологов, которые — часто непроизвольно — моделировали жизненные процессы по образцам и подобиям современных инженерно-технических достижений (например, резонаторная модель внутреннего уха Гельмгольца или модель высших аппаратов мозга по типу коммутаторов телефонных станций и т.п.). И в наши дни аналогичная установка мышления (мы в свое время назвали ее семероморфизмом, от греческого *semeron* — сегодня, — образом и подобием сегодняшнего уровня технической мысли) влияет на умы в не меньшей сте-

пени, предоставляя к их услугам как развившиеся за последние десятилетия молодые ветви математики, так и весь арсенал современной электроники и физики твердого и жидкого тела.

Если все время помнить, что каждая очередная удавшаяся модель является в лучшем случае лишь огрубленным приближением к еще очень отдаленной истине, то эвристическую ценность моделей вполне справедливо считать значительной. Однако на этом пути возможны, и не раз имели место, серьезные упущения. Накопленный в этом направлении опыт позволяет уже сделать несколько методологических выводов о том, как следует обращаться с научным моделированием.

Первый, уже совершенно бесспорный вывод — это вывод о ничтожном научном значении моделей с изолированным положительным результатом. Удачное воспроизведение моделью того или иного физиологического процесса или акта может сделать ее перспективной для создания на ее основе полезных практических автоматов, но ни в коей мере не может доказать тождества ее механизма со скрытыми механизмами прототипа.

Наоборот, эвристической ценностью, иногда немалой, обладают случаи неуспеха, отрицательного результата попытки моделирования того или иного процесса в физиологическом прототипе. Подобные случаи, имея предостерегающее значение, могут давать и существенные направляющие указания.

Существует, однако, один принцип, позволяющий изучать модели с положительным результатом имитирования. Этот принцип (охватывающий проблематику моделирования в самом широком смысле) был описан нами в 1935 г. под названием «принципа равной простоты», поскольку не удалось подобрать для него более подходящего названия [1]. Вкратце он состоит в следующем.

Господствовавшую долгое время идею о том, что из нескольких возможных объяснений явления истинно наиболее простое, в наше время приходится категорически отвергнуть как опирающуюся на ошибочное смешение понятий простоты и обобщающей силы: достаточно вспомнить для примера, насколько релятивистская кинематика Эйнштейна сложнее Галилеевой, а атом де Бройля — атомной модели Резерфорда при неоспоримом прогрессе в обоих случаях. На зато, по-видимому, справедливо другое. Какую-либо одну изолированную функцию в большинстве случаев могут смоделировать или объяснить несколько механизмов, различных по принципам их устройства. Но если речь идет о целой совокупности (семействе, классе, континууме и т.п.) функций, то почти невероятно, а чаще всего и вообще невозможно, чтобы два или более принципиально различных устройства могли воспроизвести подобного рода совокупность

во всей ее полноте, с одинаковым распределением по степени легкости (или простоты, совершенства, точности, КПД и т.д.) реализации составляющих функций. Это значит, что если удастся спроектировать, математически выразить или построить модель, способную воспроизводить какое-либо множество (ряд, континуум и т.п.) физиологических функций с равным прототипу распределением по степени доступности, градиентам легкости, качества выполнения и т.п., то это создаст очень высокую вероятность того, что подозреваемый в основе этого функционального физиологического множества механизм угадан верно. Круг проблем, прежде всего из области моделирования процессов центральной нервной системы, в отношении которых описанный здесь в немногих словах принцип сможет проявить большую эвристическую и даже методологическую силу, представляется очень широким.

По целевой установке моделей и отношению их к прототипу они, естественно, разбиваются на два больших класса, которые, пользуясь аналогией, уместно обозначить соответственно как класс птолемеевских и класс кеплеровских моделей. Модели первого из этих классов полностью удовлетворяют автора, если дают достаточно точное количественное изображение изучаемого процесса. Полученная из опыта цепочка дискретных замеров, например, какого-либо асимптотического процесса одинаково успешно воспроизводится (интерполируется) при надлежащем подборе параметров и в форме $y = -\exp(-kx)$ и как $y = 1 - kx^{-1}$ и $y = \pi/2 \operatorname{arcsec}(x+1)$ и т.п., и автор избирает одно или другое из подобных выражений, основываясь исключительно на степени удовлетворительности «перекрытия» ими данной эмпирической серии. Такой подход особенно часто встречается, например, в биометрическом моделировании.

С помощью моделей «кеплеровского» класса можно добиться того, чтобы и параметры, входящие в модельное уравнение, и сама форма и сущность отображаемых ими функциональных взаимоотношений воспроизводили те внутренние механизмы и зависимости, которые присущи прототипу. В этом классе модели распадаются на подкласс моделей, целиком абстрактных (или аналоговых), и на подкласс, охватывающий модели, мысленно перелагаемые автором на субстрат. Этот подкласс заслужил упоминания потому, что легко мирится с неоправданными гаданиями и опасностью заблуждений. Выразительный пример – недавно вышедшая книга Г.И. Полякова [2], где описываемая автором интересная типично «кеплеровская» модель трехъярусной блок-схемы управления двигательными актами уживается с гораздо менее обоснованной «привязкой» узлов блок-схемы к определенным мозговым (ядерным) структурам. Сюда же относится и стремление отыскать субстрат павловской модели генерали-

зации и дифференцировок в форме гипотетических процессов иррадиации и концентрации коркового возбуждения.

Теперь коротко следует остановиться на совершенно особом и своеобразном виде моделей, выявившемся с полной необходимостью в связи с прогрессирующим в наши дни переходом нейрофизиологии с путей рефлексорной теории на путь физиологии активности: я имею в виду активно создаваемые мозгом внутренние модели а) вероятного (прогнозируемого) будущего и б) потребного организму будущего. Относящаяся сюда проблематика очерчена более подробно в наших статьях [3-5].

Многочисленные наблюдения и факты во всех областях биологии уже давно указывали на неоспоримую целесообразность устройств и процессов, присущих живым организмам, как, может быть, на решающее отличие живых систем от каких бы то ни было объектов неживой природы. Неминуемо возникали вопросы: для чего существует и служит то или иное приспособление в организме, какую доступную наблюдению задачу оно предназначено решать? И все отчетливее стала выкристаллизовываться мысль, что в применении к биологическим объектам, к вопросам «как?» и «почему?», достаточным в физике или химии, необходимо добавить еще третий равноправный с ними вопрос – «для чего?».

Такой вывод не мог не отпугивать механицистов-материалистов XIX столетия своей видимостью идеалистического телеологизма и финализма. Допустимо ли считать, что задача или цель действия, т.е. нечто такое, что должно осуществиться только после этого действия, в будущем времени, может явиться причиной наступления этого действия? Причина позднее, чем ее следствие?! И только введенные биокibernетикой понятия кода и кодированной предвосхищающей модели потребного будущего указали на безусловно материалистический выход из этого кажущегося тупика.

Уточняя для дальнейшего нашу терминологию, скажем, что цель, понимаемая как закодированная в мозгу модель потребного организму будущего, обуславливает процессы, которые следует объединить в понятие целеустремленности. Последняя включает в себя всю мотивацию борьбы организма за достижение такой цели и ведет к развитию и закреплению целесообразных механизмов ее реализации. А вся динамика целеустремленной борьбы посредством целесообразных механизмов¹ есть комплекс, который правильнее всего объединить под термином «активность».

¹ Отметим одну правильную мысль, высказанную уже в прошлом столетии: целесообразность того или иного органа или структуры в организме еще отнюдь не предрешает их совершенства. Целесообразность подразумевает соответствие этих структур разрешаемой ими задаче лишь в меру реальных возможностей данного организма.

Активность — важнейшая черта всех живых систем, функционирующих на основе трех вышеназванных кардинальных вопросов, — стала уясняться позже других, несмотря на то, что, по-видимому, именно эта черта является самой главной и определяющей. Последнее утверждение подкрепляется и тем, что активность является наиболее общей, характерной чертой живых организмов и систем, и еще больше тем, что постановка понятия биологической активности в качестве отправной точки ведет к наиболее далеко идущему и глубокому переосмыслению тех понятий, которые отживают и уходят в прошлое вместе со всей платформой старого, механистического материализма.

Что в наибольшей мере характеризует собой активную целеустремленность организма? Организм все время находится в соприкосновении и взаимодействии с внешней и внутренней средой. Если его движение (в самом обобщенном смысле слова) имеет одинаковое направление с движением среды, то оно осуществляется гладко и бесконфликтно. Но если запрограммированное организмом движение к определенной цели требует преодоления среды, он со всей доступной ему щедростью отпускает на это преодоление энергию в негэнтропийной форме, пока либо не восторжествует над средой, либо не погибнет в борьбе с ней.

Среда, как все неживые совокупности, развивается, согласно второму принципу термодинамики, всегда в направлении возрастания энтропии. Организм в своем онтогенетическом развитии и во всех проявлениях активности осуществляет негэнтропийные процессы, добываясь и достигая понижения уровня энтропии в самом себе и в объекте своего воздействия и оплачивая этот эффект ценой возрастания энтропии в своем окружении за счет окисления и разрушения веществ — участников энергетического метаболизма. Преобладающее большинство акций живого организма негэнтропийно как по содержанию запрограммированной им активности, так и по реализации этого содержания.

Принятие в качестве отправного пункта принципа биологической и физиологической активности со всем связанным с ней кругом идей и представлений необходимо приводит к критическому пересмотру воззрений классической рефлекторной теории. Под обстрел ставится при этом не столько рефлекс сам по себе как вполне реальное физиологическое явление, сколько использование этого понятия для теоретических построений. Концепция рефлекса по схеме дуги импонировала физиологам предшествующего периода больше всего своей видимостью детерминизма, тем, насколько четко она, как казалось, позволяла уложить явление рефлекса в классическую схему причины и следствия.

Всмотримся, однако, несколько пристальнее. Стимул есть, бесспорно, причина очередного появления ответного феномена рефлекса; но говорит ли он что-нибудь о генезисе и механизме этого рефлекса? Чем объясняется то, что на данную стимуляцию организм отвечает именно так, а не иначе? Если речь идет о врожденном (так называемом безусловном) рефлексе, то очевидно, что филогенез выработал данную форму реакции постольку, поскольку она отвечала определенной потребности организмов данного вида, защитной или преодолевающей. Таким образом, здесь неминуемо всплывает вопрос «для чего», и попытка рефлекторной теории обойти этот вопрос с помощью механистической причинности оказывается прозрачной. Еще резче и выпуклее выявляется решающая необходимость привлечения к делу вопроса «для чего?» в отношении рефлексов условных, индивидуально выработанных. Если в искусственных, лабораторных условиях и удастся (нередко ценой упорного труда) воспитать у подопытного животного ту или иную явно бесполезную для него форму реагирования, то в естественной обстановке каждая прижизненно вырабатываемая реакция создается всегда как прямой ответ на вопрос, какой потребности животного она соответствует, для чего она ему нужна.

В другом месте [3] мы уже останавливали внимание на том, в каком большом числе случаев раздражение, зачинающее рефлекс, снижается по сути до значения пускового стимула, запускающего ту или иную реакцию в ход и в очень малой мере заслуживающего быть признанным ее причиной. Как правило, чем выше смысловая значимость действия, тем меньшую смысловую роль в нем играет пусковой стимул, который нередко может и вовсе отсутствовать. Следовательно, для правильного осмысления как рефлекса в тесном смысле, так и любой реакции вообще привлечение к делу вопроса «для чего?» необходимо, и по биологической важности этот вопрос выдвигается на главное место.

Постановка в качестве определяющего фактора предварающей и направляющей модели будущего сразу меняет порядок и взаимоотношение общего и частного. Как в восприятиях, так и в действиях организма это общее определяет собой те предпосылки, которые ложатся в основу конкретизированных проявлений физиологической активности. Тот факт, что в нервном процессе решение общей задачи предшествует частным решениям ее, эвристически является одним из наиболее важных для современной теоретической физиологии, находится в прямой связи с тем комплексом представлений, которыми заменяются в ней концепции рефлексной мозаики.

Именно тем фактом, что организм (в высших организмах нервная система) определяет свои действия направленно-обобщенной предварающей

шей моделью, и объясняются явления широчайшей переключаемости, уже давно изучавшиеся в целом ряде аспектов. Все больше накапливается данных о значительной автоматизации низовых управляющих систем мозга (спинальных, стволовых) при выполнении целесообразных движений конечностей, глазных яблок и т.д. Такая автоматизация, обеспечивающая организму высокую степень приспособительной быстроты и точности, возможна, конечно, только благодаря все той же направляющей обобщенности ведущего образа или модели. Здесь открываются новые и совершенно необъятные горизонты в смысле уяснения высоко целесообразных черт и закономерностей систем управления, выработавшихся в организмах по ходу филогенетического развития и, по-видимому, в очень многих отношениях глубоко отличных от применяемых в искусственных самоорганизующихся системах нашего времени.

В недавно опубликованной работе [6], делая попытку выявить те классы математических отношений, которые прежде всего намечаются для моделирования и анализа жизненных проявлений, мы выделили среди них в первую очередь два важнейших класса: 1) класс отображений, или образов, 2) класс функций разброса. Третий, столь же важный класс, охватывающий собой функции управления и регуляции у животных организмов, успел уже в отличие от двух первых получить большую и глубокую разработку в теории автоматического регулирования и теории конечных автоматов, в так называемых «играх с природой» и т.п. Первому и второму классам пока что посчастливилось меньше. Как непосредственно вытекает из определений этих классов, первый из них, класс отображений, самым тесным образом связан с процессами и результатами активного обобщения (с «существенными» переменными, по терминологии И. Гельфанда и М. Цетлина [4, 7]). Второй – класс функций разброса – столь же отчетливо обнимает проблемы приспособительной вариативности и конкретной реализации процессов и действий, т.е. проблематику «несущественных» переменных.

К классу функций отображения мы должны отнести все виды математических функциональных отношений, выражающих собой проекции одним образом организованных множеств элементов на другие множества элементов, организованные иным, но вполне определенным (хотя бы и стохастическим) способом.

Легко представить себе, насколько обширна область, охватываемая функциями класса отображений в биологической проблематике, включающая многочисленные жизненно важные отношения между организмом и той средой, в которую он погружен и внутри которой он действует. Кодированная информация, воспринимаемая организмом на всех этапах ее сле-

дования через рецептор, афферентный путь с промежуточными ядрами и мозговые синаптические системы в высшие кортикальные аппараты мозга — это целая цепь явлений из обсуждаемого класса. Каждый синтетический афферентный процесс отображается (конечно, далеко не однозначно!) в ответном двигательном действии в широком смысле. Что всего важнее — в основе каждой программы действия, обобщенной, как уже говорилось выше, лежат внутренние процессуальные системы отображения, которые мы назвали «моделями настоящего и будущего».

«Коды», запечатленные в молекулах ДНК и РНК, представляют собой биологические отображения процессов предстоящего развития и роста. Речь как психобиологическая и психосоциальная структура (с математическим языком включительно) есть опять-таки сложное, отнюдь не примитивно-поэлементное отображение воспринимаемого мира и активности в нем субъекта. Важнейшей задачей для исследования является теперь анализ — уже не в частных многообразных случаях, а в самых общих и определяющих чертах — тех законов, которые властвуют в области биологических и физиологических отображений. Не задерживаясь на характерных примерах, остановимся коротко на той своеобразной разновидности отношений отображения, которая принадлежит исключительно к биологическому кругу явлений и уже не однократно нами затрагивалась.

Мы имеем в виду соотношения между моделью, или программой двигательного акта, или вообще любой активной деятельности, оформленной в виде «модели будущего», и фактическим осуществлением этого акта, или процесса.

Можно считать, что второе представляет собой своеобразное отображение первого — активную проекцию запрограммированного мозгового кода на действительность с соответственной временной задержкой. Уже наперед можно сказать, что адекватные всем соотношениям этого класса математические орудия еще должны быть найдены. Зато есть основание думать, что создание этих новых орудий математического выражения решит заодно и проблему механизмов узнавания образов («перцептроника»), пока ускользающую от строгого, принципиально обоснованного решения.

Глубокое своеобразие класса отображений в биологических объектах особенно хорошо оттеняется противопоставлением ему второго из упомянутых здесь классов — класса функций разброса.

Весь длительный опыт нашего исследовательского коллектива по линии точного изучения различных двигательных актов человека выявил одну присущую всем им черту. Эта черта, особенно ясно проступающая в навыковых, многократно повторяемых двигательных актах, как, например, локомоторные движения, письмо, простые производственные операции

и т.п., состоит в неизменно свойственной всем этим актам довольно значительной вариативности кинематического рисунка, или параметров кинематических уравнений, описывающих эти движения. Далекое не всегда удастся выявить приспособительный смысл наблюдаемых вариаций между циклами движения (обусловливаемых, например, неровностями дороги при ходьбе, порывами ветра, сопротивлением материала или противника и т.д.). Значительный, так сказать, остаточный разброс между последовательными повторениями движения, наблюдаемый и при идеальном равенстве и постоянстве всех внешних условий, нельзя, судя по всему, относить полностью за счет недонаблюдённых, ускользающих от внимания факторов. Создается впечатление, что организму (по удачному выражению одного из наших коллег) в каких-то пределах и в каких-то направлениях «все равно», будет ли очередной цикл движения кинематически реализован так, или на n сантиметров, либо на t десятых долей секунды иначе.

Нужно сказать, что разброс описываемого типа и облика не является принадлежностью какого-либо одного органа или организма, а, наоборот, выглядит как очень широкий, буквально всеобъемлющий принцип. Мы сталкиваемся с ним в движениях гладкой мускулатуры (например, в кишечной перистальтике), в движениях беспозвоночных, не имеющих поперечно-полосатой мускулатуры, в последовательных циклах электрокардиограмм, в колебаниях мерцательного эпителия или ресничек инфузорий и т.п.

Несомненно, следует сразу отвергнуть непринципиальные попытки описания явлений разброса посредством привычных и машинально применяемых кривых распределения Гаусса или Пирсона. Помимо того, что такие описания очень мало информативны именно в силу своей безличности, важно то, что функции распределения, разработанные Гауссом, принципиально построены для отражения состояний или процессов в совокупностях очень высоких численностей неиндивидуализированных и даже неразличимых объектов.

Но закономерности, характерные для секстильонов тождественных между собой неорганических молекул или ионов, не могут не отличаться по самому существу от функций, пригодных для отображения поведения существенно неоднородных коллективов умеренной численности¹, какими являются коллективы высокодифференцированных нервных клеток, мышечных волокон, элементов многих паренхиматозных органов и т.д. К этим последним видам функций необходимо подойти с принципиально иным математическим аппаратом.

¹ Приближенные расчетные методы для коллективов такого типа, разработанные в вариационной статистике (Стьюдента, Пирсона и др.), преследуют одни только вычислительные, а не познавательные цели.

Заметив прежде всего, что обсуждаемая вариативность, и приспособительная, и стохастическая, относится всегда только к несущественным в нашем смысле слагающим и параметрам движения, никогда не отражаясь на реализации его существенных целевых характеристик, мы, естественно, приходим к мысли, что в этой группе явлений необходимым образом отражаются черты своеобразной субординационной структуры управления, присущей двигательному аппарату. Такую неоднородную структуру в самых общих, еще во многом предположительных очертаниях мы пытались отобразить в своей монографии [8]. В последние годы наблюдаемая здесь субординация в своих главных чертах смогла получить и моделирующее математическое выражение, и экспериментальное подкрепление в ряде работ И.М. Гельфанда, В.С. Гурфинкеля и М.Л. Цетлина с сотрудниками.

Согласно модели этих авторов, вышестоящая управляющая система мозга направляет по эфферентным путям в низовые (спинальные) инстанции не конкретные и детализированные команды мышцам, а команды о включении тех или иных рабочих матриц, выработавшихся ранее и локализованных, по многим данным, в сегментарных аппаратах спинного мозга, в составе альфа- и гамма-нейронов, афферентных нейронов разных модальностей и интернейронной среды. Будучи включенной, каждая подобная функциональная матрица обладает достаточной степенью автономности в осуществлении соответствующих элементов двигательного акта, маневрируя и переключая свои составляющие либо по приказам мозговых приборов сличения о возникшем рассогласовании, либо (по-видимому, в тех случаях, когда ситуация оказывается почему-либо непосильной для данной матрицы) вызывая со стороны соответствующей сегментарной системы своего рода сигналы апелляции к вышестоящим органам мозга. Структурно описываемые низовые матрицы находятся в близкой аналогии с игровыми, причем поведение их функционально связано с какими-то еще не выясненными категориями афферентных сигналов, выполняющими на этом уровне роль «плат» или «штрафов».

Сейчас нам более важно отметить две другие стороны функционирования этих субординированных систем. Во-первых, мы необходимо должны приписывать низовым матричным приборам не только способность к накоплению опыта, т.е. к формированию своих связей и «тактик» на основании испытываемых взаимодействий с внешним миром, но и активный поиск оптимальных форм «игры с природой», которую они ведут. С этой точки зрения тот «остаточный» разброс, о котором было упомянуто выше и которому, по-видимому, не приходится приписывать реактивно-приспособительное значение, будет правильным охарактеризовать как

разброс поисковый, как активные формы прощупывания обстановки, ее градиентов, оптимальных направлений действия и т.п.

Во-вторых, если в самом деле вариативность и разброс возникают за счет функциональных свойств сегментарных матриц, выполняющих важную роль «подслаивания» существенных компонентов действия и приспособления последнего к внешним условиям и помехам, то качественные математические характеристики наблюдаемых разбросов должны самым прямым образом зависеть от строения и форм целесообразных взаимоотношений между обоими субординационно связанными уровнями. А это означает, что функции разброса в каждом данном случае являются своего рода отображениями этого строения и этих форм. Если эта мысль справедлива, то сами по себе процессы управления актами действия, труднодоступные как для регистрации, так и для прямой математической интерпретации, смогут найти последнюю в своих отображениях через функции разброса во всем их широком качественном разнообразии и своеобразии. Какими именно алгоритмами эти функции окажутся связанными со своими оригиналами и будут ли эти алгоритмы изображены в современных понятиях и символах математики — это уже вопрос принципиальный.

Вместе с тем, эта частная задача вплотную подводит нас к одному очень общему и важному вопросу — вопросу о роли и судьбах математической интерпретации в биологии и физиологии. Переживаемый нами период характеризуется комплексированием методов и стремлением к общему языку и совместной работе ученых разных специальностей. В частности, этот процесс проявляется в возрастании интереса и внимания математиков к биологическим проблемам и их математическому моделированию. В начальных фазах попытки такого сближения математиков с биологией принесли с собой много разочарований.

Обращавшиеся к вопросам биологии ученые-математики далеко не сразу убедились, что находящийся в их руках великолепный аппарат, выработавшийся для анализа задач о неживой природе и безукоризненно обслуживающий проблематику физики и химии, неадекватен для освещения того нового круга вопросов, за который они с известной долей заносчивости взялись. По-видимому, сейчас этот начальный фазис непонимания уже изжит или близок к этому, и передовые математики успели ясно представить себе, что их вооружение, перед которым не выстаивает ни одна твердыня неживой природы, не в силах пока адекватно выразить своеобразие, присущее проблемам жизни.

Теперь стало очевидным, что на путях математизации биологических наук речь должна идти не о каком-то приживлении математики к биологии и извне (именно такие попытки делались и, несомненно, еще будут делаться и

впредь), а о выращивании новых, биологических глав математики изнутри, из самого существа тех вопросов, которые ставятся перед нами науками о жизнедеятельности. Оснащенные (может быть, уже в недалеком будущем) действительно адекватным математическим аппаратом, биология и биокibernетика сольются тогда, как думается, в синтетическую науку, которая станет для них новой и высшей ступенью.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бернштейн Н. А.* Проблема взаимоотношений координации и локализации. — «Архив биологических наук», 1935, т. 38, № 1.
2. *Поляков Г. И.* О принципах нейронной организации мозга. М., 1965.
3. *Бернштейн Н. А.* Пути и задачи физиологии активности. — «Вопросы философии», 1961, № 6, стр. 77.
4. *Бернштейн Н. А.* Новые линии развития в физиологии и их соотношение с кибернетикой. — «Вопросы философии», 1962, № 8, стр. 78.
5. *Бернштейн Н. А.* На путях к биологии активности. — «Вопросы философии», 1965, № 10, стр. 65.
6. *Бернштейн Н. А.* О перспективах математики в биокибернетике. — В кн.: *А. Напалков, В. Черныш.* Математический аппарат биологической кибернетики. М., 1964.
7. *Гельфанд И. М., Цетлин М. Л.* О некоторых способах управления сложными системами. — «Успехи математических наук», 1962, т. 17, вып. 1, стр. 3. 8. *Бернштейн Н. А.* О построении движений. М., 1947.

Научное издание

Николай Александрович Бернштейн

Избранные труды по биомеханике и кибернетике

Серия «Классическое научное наследие
Физическая культура»