

Московский государственный университет
им.М.В.Ломоносова. Факультет психологии
Российское психологическое общество

**I Международная
конференция
памяти
*А.Р. Лурия***

СБОРНИК ДОКЛАДОВ под

редакцией Е.Д.Хомской, Т.В.Ахутиной

Москва 1998

Стрессоустойчивость как индивидуальная особенность ¹⁾

Данилова Н.Н

Россия, Москва.

Стрессоустойчивость может быть определена как способность человека переносить большие физические и умственные нагрузки, успешно решать задачи в экстремальных ситуациях и даже сохранять здоровье в среде с плохой экологией. Качество стрессоустойчивости зависит от функциональной организации индивидуального мозга, которая определяется как его природными свойствами, так и влиянием на него средовых факторов.

На психологическом уровне индивидуальная стрессоустойчивость может быть измерена как по поведенческим показателям (результатам и стилю деятельности), так и с помощью ряда психологических тестов. Среди последних следует выделить опросники Ч. Спилбергера, измеряющие личностную и ситуативную тревожность, Г. Айзенка с оценками по шкалам: экстраверсия - интроверсия, нейротизм, а также тесты Я. Стреляу, измеряющие силу процессов возбуждения, торможения и их подвижности по самооценкам особенностей своего поведения. Сочетание некоторых индивидуальных качеств делает человека более уязвимым к воздействию самых различных стрессовых факторов. Обследование работников вредного химического предприятия показало, что лица, отличающиеся низкой личностной тревожностью (по Спилбергеру), низким нейротизмом (по Айзенку) и обладающие сильной нервной системой (по тесту Стреляу), подвергаются меньшему риску со стороны онкологических и сердечно-сосудистых заболеваний (Данилова, 1992).

На физиологическом уровне стрессоустойчивость может быть измерена объективным методом с помощью физиологических показателей, характеризующих функциональное состояние человека и его изменения на информационную нагрузку. Известно, что модулирующая система мозга,

1) Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №97-06-80285).

определяющая реакции активации и функциональное состояние, гетерогенна. Сегодня в ней выделяют несколько субсистем активации. Имеются все основания связывать формирование активации как реакции внимания на новый стимул со стволово- таламо-кортикальной системой (Andersen, Anderson, 1968; Данилова, 1969, 1997). Активация на значимый стимул, а именно на условный сигнал награды, реализуется с участием базальной холинергической системы переднего мозга (Szymusak, 1995). Паттерн активации, охватывающий не только сенсорные, но и исполнительные системы, и отвечающий требованиям решаемой задачи, обеспечивается каудо-таламо-кортикальной системой (Суворов, Таиров, 1985).

Вместе с тем ряд исследователей склонны выделять прежде всего две основные и оппонентные системы активации (Graham, 1976; Gray, 1971; Данилова, 1985, 1995; Cacioppo, Sokolov, 1997). Одну из них связывают с появлением ориентировочного рефлекса и выбросом в мозге опиоидов, ростом содержания гормона тестостерона и уменьшением кортизола. На субъективном уровне этому комплексу реакций соответствует переживание положительных эмоций. Другая система активации причастна к появлению пассивно оборонительного поведения, которое характеризуется ростом гормона стресса - кортизола при уменьшении тестостерона и редукции опиоидов. С этим комплексом реакций ассоциировано появление отрицательных эмоций в том числе страха потерять контроль над ситуацией (Henry, 1986).

Можно предположить, что индивидуальность мозга в значительной степени зависит от баланса этих двух систем активации, а *индивидуальная стрессоустойчивость от природного соотношения ориентировочного и оборонительного рефлексов.*

Для психофизиологического измерения стрессоустойчивости человека удобно использовать параметры сердечного ритма, так как последний позволяет не только оценивать функциональное состояние человека, но и выявлять его связь с ориентировочным и оборонительным рефлексом в процессе когнитивной деятельности (Данилова, 1995). Известно, что фазический ориентировочный рефлекс проявляется в снижении ЧСС, а оборонительный рефлекс, вызываемый аверсивным, угрожающим или болевым стимулами, сочетается с увеличением частоты сердечного ритма (Gracham, 1979). Тонические формы ориентировочного и оборонительного рефлексов в СР также как и фазические выражаются противоположно в изменении его частоты. Известно, что решение трудных арифметических задач обычно вызывает у испытуемых состояние подобное стрессу, что проявляется ростом ЧСС. Этот эффект в значительной мере зависит от уровня личностной тревожности. Показано, что группа лиц с высокой личностной тревожностью (по Спилбергеру) по сравнению с низкотрещивными характеризуется более высокой ЧСС и большим значением индекса напряжения (по Баевскому) при меньшей величине стандартного отклонения от среднего RR-интервала (Данилова и др., 1995). Уровень личностной тревожности влияет на особенности когнитивных

процессов. Согласно Шенпфлугу (Schonpflug, 1983), когда у нетревожных субъектов при решении когнитивных задач наблюдается низкая ЧСС, это указывает на творческий, аналитический характер их когнитивной деятельности. Более высокая частота СР у тревожных субъектов - показатель напряженности и трудностей, что обычно проявляется в ухудшении ее результатов.

Целью настоящей работы было определить возможности векторного представления СР для оценки ФС у разных групп испытуемых (студентов, школьников, беременных женщин и их плодов) и исследовать ФС в процессе когнитивной деятельности в зависимости от личностной тревожности и индивидуального соотношения ориентировочного и оборонительного рефлексов с помощью векторного пространства СР. Кроме того исследовалась возможность применения метода векторного представления СР у беременных женщин и их плодов для оценки их ФС в целях прогноза будущего нормального или аномального развития ребенка.

Методика

ЭКГ была зарегистрирована у 90 студентов и 60 школьников. Она вводилась в компьютер IBM PC через 8-канальный аналого-цифровой преобразователь СЭТ - 1 (фирмы Мединфосервис). Для получения ЭКГ плода и матери регистрировалась абдоминальная ЭКГ у 135 беременных женщин, с помощью кардиомонитора КМП-01 (комплекс мать - плод) на базе роддома 72 городской больницы г. Москвы. Для этого в соответствии со стандартной системой отведения тактивные электроды располагались на брюшной стенке женщины в области проекции головки и таза плода, а индифферентный на бедре. Женщины находились на третьем триместре беременности. Распознавание и разделение QRS зубцов матери и плода программно выполнялось КМП-01. Частота оцифровки кардио-сигнала беременной женщины - 1000 Гц, у студентов и школьников - 100 Гц.

ЭКГ у студентов регистрировалась в покое и при перемножении двухзначных чисел на двухзначные. Школьники дополнительно выполняли также тест Равена. Абдоминальная ЭКГ у беременной женщины регистрировалась только в покое, в положении лежа.

Обработка кардиосигнала обеспечивалась "Пакетом компьютерных программ DFS (Диагностика функциональных состояний)" (Грачев и др., 1993). Программа выделяла зубец R из ЭКГ, измеряла периоды между сердечными сокращениями (RR-интервалы), выполняла квадратичную интерполяцию последовательности RR-интервалов (ритмограммы), ее последующую дискретизацию с шагом 500 мс, удаление тренда с последующим вычислением спектра мощности ритмограммы сердца в диапазоне от 0,005 до 0,5 Гц и сглаживанием в частотной области.

Трехминутные записи ЭКГ после преобразования её в ритмограмму представлялись в виде частотных спектров мощности, характеризующих текущую комбинацию ритмических модулирующих влияний, поступающих на синусный узел сердца.

Спектры мощности РГ рассчитывались по алгоритму быстрого преобразования Фурье в полосе частот 0.005 - 0.5 Гц с шагом 0.002 с и представляли собой 251-полосные спектры. Затем полосы укрупнялись для вычисления 10-полосных спектров.

На следующем этапе обработки большие массивы 10-полосных спектров РГ, полученных для разных функциональных состояний у многих испытуемых, подвергались факторному анализу (методу главных компонент с варимаксным вращением). Выделенные факторы (ортогональные оси пространства) спектров РГ интерпретировались как независимые частотные модуляторы кардиоинтервалов. В таком факторном пространстве каждый частотный спектр РГ, которому соответствует определенное ФС, представлен вектором, зависящим от вкладов, вносимых в величину RR-интервала независимыми ритмическими модуляторами, число которых определяется мерностью векторного пространства. Строились групповые векторные пространства СР для 90 студентов в возрасте 19 - 20 лет (из 180 спектров), для 60 школьников (из 180 спектров), для 135 беременных женщин в возрасте 17-35 лет (из 135 спектров) и 135 их плодов (из 135 спектров). Диагностика функционального состояния осуществлялась по локализации спектра мощности в векторном пространстве СР.

Дополнительно участки записи ЭКГ стандартной 3-х минутной длительности подвергались статистическому анализу, включающему вычисление индекса напряжения (ИН) по Баевскому, ЧСС и стандартного отклонения (СО), которые также учитывались при идентификации состояний. Статистическая значимость групповых различий оценивалась по t - критерию Стьюдента.

У студентов измерялась личностная и ситуативная тревожность по тесту Ч.Спилбергера в модификации Ханина (Ханин, 1976).

Результаты

Для больших массивов спектров РГ сердца у четырех групп испытуемых, у которых ЭКГ регистрировалась как в состоянии покоя, так и во время выполнения различных когнитивных тестов, были построены факторные пространства СР. Каждый спектр мощности характеризовал ЭКГ длительностью в три минуты. Пространство СР 90 студентов было получено из 180 спектров, по два спектра от каждого студента: для ЭКГ фона и во время выполнения в быстром темпе арифметических действий (перемножения двухзначных чисел на двухзначное). Пространство СР 60 школьников 8 класса было получено также из 180 спектров, по три спектра для каждого: для фоновых условий и во время выполнения таких же арифметических действий - перемножения, а также теста Равена. Два других пространства были получены из абдоминальных ЭКГ женщин, находящихся на третьем триместре беременности. Одно - для плода чело- века, другое - для беременной женщины. Каждое из них было построено из 135 фоновых спектров.

Сравнивая графическое представление факторных нагрузок полученных четырех групповых пространств СР, можно видеть их сходство как по количеству, так и составу выделенных факторов (рис. 1). Все рассматриваемые пространства являются трехмерными и выделенные факторы интерпретируются одинаково как метаболический, сосудистый и дыхательный ритмические модуляторы, тем самым подтверждая трехкомпонентную теорию модуляции СР.

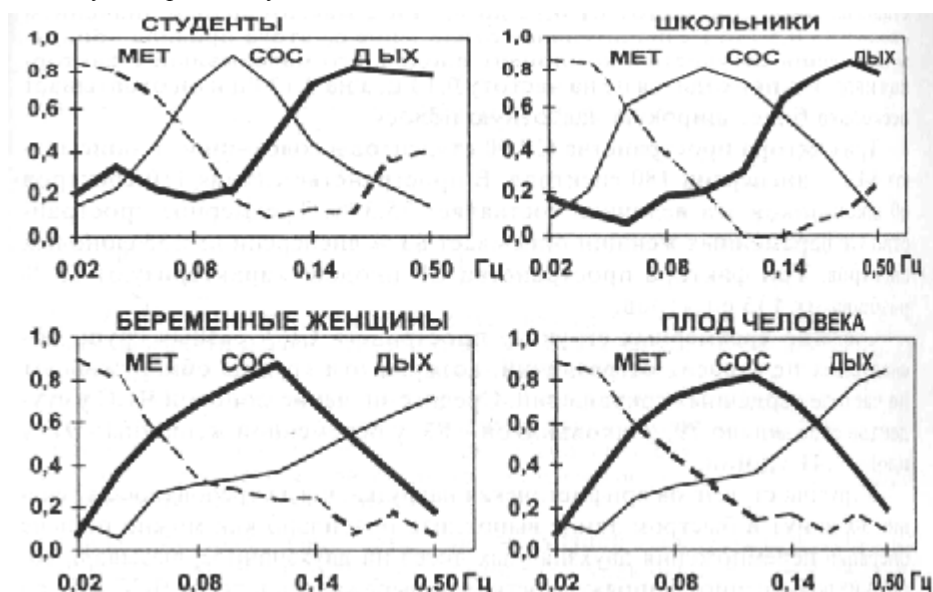


Рис. 1. Графическое представление факторных нагрузок четырех групповых векторных пространств СР для 90 студентов, 60 школьников, 135 беременных женщин и 135 плодов человека на позднем этапе пренатального развития. MET, SOC, Дых - метаболический, сосудистый и дыхательный факторы.

У взрослых испытуемых: беременных женщин и студентов вес фактора убывает в направлении от дыхательной модуляции через сосудистую к метаболической. Вес дыхательного фактора у женщин составляет 31,3 %, у студентов - 29,0 %. Вес сосудистого фактора у женщин - 29,1 %, у студентов - 27,5 %. Вес метаболического фактора несколько меньше и соответственно составляет у них 22,6 % и 23,8 %. В факторном пространстве СР плода человека наибольший вес приходится на сосудистый фактор (32,4 %), затем следует дыхательный (27,2 %) и метаболический (23,1 %). Подобное распределение весов факторов трехмерного пространства СР выявлено и у школьников 8 класса. Однако различие весов у сосудистого (27,9 %) и дыхательного модуляторов (26,9 %) у них менее выражено. Метаболический фактор у них также обладает минимальным весом (20,5 %).

Соотношение факторных нагрузок трех ритмических модуляторов позволяет определить частотные полосы в спектре ритмограммы сердца, в

которых представлены влияния трех основных ритмических осцилляторов. Как следует из факторных нагрузок всех рассматриваемых групповых пространств метаболический компонент в спектре студентов, школьников, беременных женщин и их плодов представлен полосой наиболее низких частот (0,02 - 0,06 Гц). Сосудистый компонент охватывает зону частотной модуляции от 0,06 до 0,12 Гц с пиком около 0,1 Гц. Дыхательная аритмия в спектре СР имеет наиболее высокую частоту, она представлена полосой частот от 0,12 до 0,5 Гц с максимальным значением около 0,3 - 0,5 Гц. Незначительное отклонение от этого правила обнаруживает лишь сосудистый компонент плодов, его максимальная факторная нагрузка приходится не на частоту 0,1 Гц, а на 0,12 Гц и он охватывает несколько более широкую частотную полосу.

Три фактора пространства СР 90 студентов в совокупности описывают 80,2 % дисперсии 180 спектров. В пространстве СР для 180 спектров 60 школьников эта величина составляет 75,3 %. Трехмерное пространство СР беременных женщин описывает 83 % дисперсии их 135 фоновых спектров. Три фактора пространства СР плодов характеризуют 83 % разброса их 135 спектров.

Сходство трехмерных структур пространств СР у разных групп обследуемых не зависит от различий, которые эти группы обнаруживают по частоте сердечных сокращений. Среднее значение фоновой ЧСС у студентов составляло 79, у школьников - 83, у беременной женщины - 91, у плода - 141 уд/мин.

У группы студентов арифметическая нагрузка, когда требовалось в течение 3-х минут в быстром темпе выполнить правильно как можно больше операций перемножения двухзначных чисел на двухзначное, вызывала состояние повышенной напряженности, что выражалось в росте ЧСС с 79 до 91 уд/мин ($p=0,0001$). ИН увеличивался с 84,0 до 113,9 усл.ед. ($p=0,008$).

Представление спектров СР в векторном пространстве позволило количественно оценить реакции трех ритмических модуляторов на нагрузку. Выполнение арифметического задания вызывало сильное подавление сосудистой модуляции ($p=0,0001$), уменьшение дыхательной модуляции было менее значительным и статистически было на уровне тенденции. Уменьшение метаболической модуляции также было незначительным и статистически не значимым, что объяснялось тем, что у 50 лиц из 90 она действительно уменьшалась, тогда как у 40 - увеличивалась. Таким образом, в группе студентов наиболее реактивной была сосудистая модуляция.

Изучение связи личностной тревожности с параметрами СР с помощью векторного пространства позволило выявить не только ее корреляцию с ЧСС, но и с активностью трех ритмических модуляторов RR-интервалов. По уровню личностной тревожности (ЛТ) 90 студентов были разделены на 4 группы. Среднегрупповые значения ЛТ для четырех групп соответственно составили 34,8 (1 группа), 40,4 (2 группа), 45,96 (3 группа) и 54,4 (4 группа). Наиболее высокотревожные студенты (4 груп-

па) имели более высокую ЧСС: 84,1 против 77,2 (3 группа), 71,9 (2 группа) и 74,5 уд/мин (1 группа).

На рис.2 представлено перемещение групповых векторов СР под влиянием арифметической нагрузки относительно фона для 4-х групп студентов

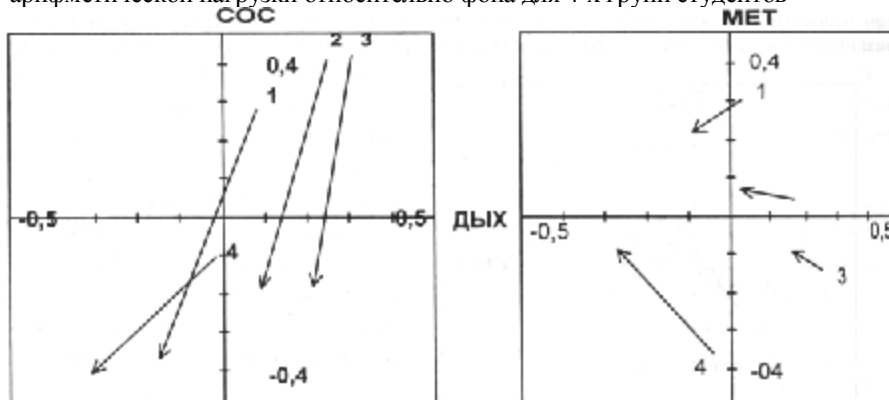


Рис. 2. Векторное представление изменения групповых спектров СР под влиянием арифметической нагрузки (перемножения чисел) у четырех групп студентов, различающихся уровнем личностной тревожности. 1, 2, 3, и 4 - номера групп испытуемых, личностная тревожность которых увеличивается с номером группы. Видны групповые различия перемещения спектров СР в плоскостях дыхательно-сосудистой и дыхательно-метаболической модуляций под влиянием арифметической нагрузки относительно фона. Стрелка указывает на направление перемещения.

в плоскостях дых - сос и дых - мет модуляций трехмерного пространства. Видно, что высокие значения личностной тревожности предопределяют ослабление дыхательной и сосудистой модуляций уже в фоновом СР. Наибольшие значения дыхательной и сосудистой модуляций в фоновой ЭКГ обнаруживают испытуемые со средним уровнем тревожности (3 группа). С уменьшением личностной тревожности (от 3 до 1 группы) фоновая дыхательная и сосудистая модуляция постепенно уменьшается, но ее значения остаются выше уровня модуляций у наиболее тревожных испытуемых (4 группа).

У первых трех групп испытуемых реакция на арифметическую нагрузку складывается главным образом из подавления сосудистой модуляции (p от 0,049 до 0,001) и в меньшей степени - дыхательной. Фоновые различия между первыми тремя группами по уровню дыхательной и сосудистой модуляций сохраняются и во время когнитивной деятельности. Обращает на себя внимание качественное отличие реакции 4-ой группы испытуемых. Во время арифметической нагрузки у них усиливается метаболическая модуляция, которая в фоне была сильно подавлена по сравнению с другими группами. При этом одновременно редуцируются сосудистая и особенно дыхательная модуляции. У первых трех групп испытуемых метаболическая модуляция в фоновой ЭКГ явно более выражена, чем у 4-й группы, и она практически слабо реагирует на нагрузку.

Дополнительный анализ индивидуальных реакций на арифметическую нагрузку в пространстве СР показал, что редукция частотной модуляции не является единственным типом реакций. У некоторых испытуемых можно было наблюдать реакцию в виде усиления дыхательной или сосудистой модуляций, или обеих вместе. На рис. 3 представлены примеры различных типов изменения спектров мощности РГ сердца в векторном

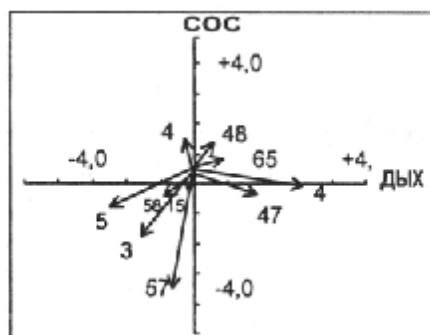


Рис. 3. Типы индивидуальных реакций спектра СР у студентов на арифметическую нагрузку в плоскости дыхательно-сосудистой модуляции трехмерного пространства. Стрелки отображают величину и знак изменения координат спектра в пространстве под влиянием арифметической нагрузки. Показана разность: "Арифметика - Фон". Цифры - порядковые номера испытуемых.

пространстве СР некоторых студентов. Показаны результаты вычитания фонового вектора из - "вектора нагрузки". Исп. 48 и 65 реагируют коактивацией дыхательной и сосудистой модуляций. Исп. 47 усиливает дыхательную модуляцию при подавлении сосудистой. У исп. 41 усиливается сосудистая модуляция при незначительном ослаблении дыхательной.

Реакции остальных испытуемых, показанных на рисунке, состоят из одновременной редукции дыхательной и сосудистой модуляций.

Таким образом, индивидуальные различия, связанные с ЛТ, проявляют себя в фоновом уровне сосудистой и дыхательной модуляций. Она выше и ме-

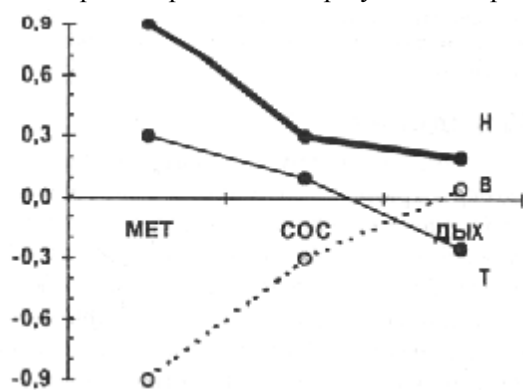
нее редуцируется под влиянием арифметической нагрузки у лиц со средним значением ЛТ. Кроме того даже в стрессовой ситуации, создаваемой выполнением арифметического теста, некоторые испытуемые реагируют на нагрузку не редукцией сосудистой и дыхательной модуляций, а ее усилением. Ранее подобный тип реакции был выделен как основной тип группового реагирования при ассоциативном обучении (Данилова, 1995).

Метод векторного пространства СР был применен для диагностики функционального состояния плода человека на стадии 36 - 39 недель. Абдоминальные ЭКГ обследованных 135 пар (мать - плод) после рождения ребенка были разделены на три группы. Деление на группы выполнялось в соответствии с результатами неврологического обследования новорожденных врачами сразу после рождения и заключения о норме или отклонении от нее в виде возбужденной или угнетенной нервной системы. Количество новорожденных в этих группах соответственно составило: 42, 52 и 41 человек.

Анализ межгрупповых различий групп СР плодов человека показал, что они не различались ЧСС. Средне-групповые значения СР соответственно составили 142,5 уд/мин для "нормы" (Н), 141,0 уд/мин для "тор-

мозных" (Т) и 140,5 уд/мин для "возбужденных" (В). Вместе с тем выделенные по неврологическим показателям группы "плодов" существенно различались составом ритмических модулирующих влияний на RR-интервал. Прежде всего следует подчеркнуть тот факт, что для спектра СР "плодов" Н группы характерно постепенное ослабление мощности модулирующих влияний в направлении от метаболической к дыхательной. То есть вариабельность СР в этой группе определяется главным образом за счет метаболической составляющей, тогда как сосудистая и особенно дыхательная модуляция вносят меньший вклад.

На рис. 4 представлены результаты определения мощности модули-



рующих влияний в спектрах СР, полученные методом векторного пространства, для трех групп плодов человека. Показано различие вкладов метаболической, сосудистой и дыхательной модуляций в групповые фоновые спектры мощности СР у "возбужденных" (В), "заторможенных" (Т) и нормально развивающихся (Н) плодов человека.

Рис. 4. Различия метаболической, сосудистой и дыхательной модуляций в фоновых спектрах СР трех групп плодов человека. В и Т - соответственно "возбужденная" и "заторможенная" группы, Н - нормально развивающаяся. Для группы Т характерно ослабление модуляций всех трех осцилляторов. Группу В отличает избирательная редукция метаболической модуляции.

Как следует из рисунка главным электрокардиографическим признаком отклонения от нормального развития является общее снижение мощности всех модулирующих влияний. При этом наиболее сильно редуцирована метаболичес-

кая модуляция, которая доминирует в спектре СР плодов, отнесенных к нормальной группе. В группе В она выражена сильнее, чем в группе Т. В группе "возбужденных" по сравнению с "заторможенными" значительно слабее и сосудистая модуляция. Межгрупповые различия статистически достоверны для метаболической модуляции ($p < 0,001$). По сосудистой модуляции достоверны различия между группами Н и В ($p = 0,003$), между группами В и Т ($p = 0,018$) и не значимы между группами Н и Т. По дыхательной модуляции достоверны различия между группами Н и Т, а также Т и В. Различия для групп Н и В по дыхательной модуляции не значимы.

Таким образом, еще до рождения ребенка по расположению спектра мощности СР плода человека в векторном трехмерном пространстве можно судить об отклонении его от нормального развития. Группа плодов человека, которая после рождения обнаружила неврологические признаки

торможения нервной системы, отличается от нормы общим снижением в спектре СР всех модулирующих влияний. Однако при этом тот тип соотношения активности трех основных модуляторов, который характерен для нормы, сохраняется: преобладание метаболической модуляции над сосудистой и особенно над дыхательной. Наиболее сильное отклонение от нормы обнаруживает группа плодов человека с признаками постнатального возбуждения. Именно у них метаболическая модуляция наиболее подавлена, кроме того у них нарушено и соотношение активности трех основных модуляторов. При общем сильном снижении модулирующих влияний в группе "возбужденных" преобладает дыхательная модуляция, которая по абсолютным значениям близка к норме. Их сосудистая модуляция редуцирована в меньшей степени, чем метаболическая, но более сильно, чем у двух других групп.

Обсуждение

Сходство пространств СР, полученных для групп испытуемых разного возраста, а также их сходство с пространством СР плода человека указывает на универсальность трехмерного пространства в системе трех ритмических модуляторов пейсмекера сердца. Факторные структуры СР получены методом главных компонент, что позволяет рассматривать выделенные факторы как ортогональные. Это означает, что *три выделенных частотных модулятора: метаболический, сосудистый и дыхательный* функционируют как независимые системы. Их влияния на СР выражено в спектре мощности РГ, который представляет собой трехкомпонентный вектор, отражающий ту или другую комбинацию вкладов трех ритмических модуляторов.

Ортогональность выделенных факторов согласуется с результатами ряда исследований. Независимость изменений дыхательной модуляции от волн Траубе-Геринга-Мейера (ТГМ) и сосудистой модуляции показана в работе Хэтча и др. (Hatch et al., 1986). Они наблюдали депрессию дыхательной аритмии (ДА) в спектре РГ сердца при отсутствии изменений мощности ТГМ во время ортостатического стресса, вызываемого подъемом тела платформой из горизонтального положения на угол в 70 градусов. Также найдено, что увеличение мощности ТГМ ритмическим качением тела на платформе с частотой 0,08 Гц происходит в отсутствии изменений в ДА (Burne, Forges, 1992). Эти результаты показали несостоятельность распространенной точки зрения о реципрокных отношений между мощностью ТГМ и ДА.

Одно из преимуществ векторного пространства СР состоит в том, что оно позволяет количественно определять вклады каждого из трех частотных модуляторов в состав спектра мощности СР. Таким образом, отпадает необходимость проводить границы в самом частотном спектре для разделения его на частотные составляющие. Из-за отсутствия для этого надежных критериев данная задача до сих пор остается не решенной исследователями, работающими со спектрами СР.

Полученные результаты показывают, что *ЛТ* является одним из важных факторов, определяющим как фоновые характеристики *СР*, так и его реакции на информационную нагрузку. Высокая личностная тревожность сочетается с наиболее сильной редукцией сосудистого и дыхательного компонентов фонового вектора *СР*. В диапазоне от малых до средних значений личностная тревожность обнаруживает обратные отношения с активностью этих двух модуляторов: по мере увеличения *ЛТ* активность их возрастает. У всех групп с разным уровнем *ЛТ* арифметическая нагрузка вызвала редукцию сосудистых и дыхательных влияний. При этом межгрупповые различия, характерные для фона сохраняются и во время выполнения арифметических операций. Наибольшее ослабление сосудистой и дыхательной модуляций и во время арифметического теста также наблюдается у высокотренированной - 4-й группы. Высокотренированных субъектов отличает от низкотренированных также высокая ЧСС (Данилова и др., 1995).

Однако не только *ЛТ* стимулирует появление комплекса реакций *СР* в виде редукции сосудистой и дыхательной модуляций и росте ЧСС. Другим фактором, вызывающим подобную реакцию *СР*, является деятельность самого субъекта, если она создает стрессовую ситуацию. Решение арифметических задач к тому же в быстром темпе относится именно к такому типу заданий и часто используется исследователями в качестве модели экспериментального стресса. Поэтому все четыре группы испытуемых, различающиеся уровнем *ЛТ* и выполняющие арифметический тест, демонстрировали большую или меньшую, но обязательно редукцию сосудистых и дыхательных влияний.

Таким образом, комплекс реакций в виде подавления сосудистой и дыхательной модуляций, сочетающейся с ростом ЧСС, по-видимому, отражает состояние напряженности и связанные с ним защитные, оборонительные реакции организма, возникающих в результате жестких требований, предъявляемых задач, а также за счет высокой *ЛТ*. На субъективном уровне индивидуальная реактивность системы оборонительного рефлекса, по-видимому, представлена *ЛТ*. Лица с высокой индивидуальной тревожностью более часто реагируют на нейтральную ситуацию защитными, стрессовыми реакциями, и тем самым оказываются менее защищенными от нервных перегрузок.

Анализ индивидуальных реакций *СР* на арифметическую нагрузку, а также ранее полученные результаты об изменении *СР* в процессе ассоциативного обучения (Данилова, 1995) позволяют также выделить комплекс реакций в виде противоположных изменений тех же параметров *СР*: усиление сосудистой и дыхательной модуляции в сочетании с увеличением *RR*-интервала.

Два типа реакций с противоположными изменениями параметров *СР* могут рассматриваться как выражение двух типов рефлексов: ориентировочного и оборонительного, находящихся в оппонентных отношениях и противоположно действующих на одни и те же исполнительные органы. Известно, что фазический ориентировочный рефлекс выражается в

расширении сосудов головы и сужении сосудов руки (Соколов, 1958), а также в снижении ЧСС (Gracham, 1979, 1997). При оборонительном рефлексе наблюдаются противоположные реакции: сужение сосудов головы и руки, рост ЧСС.

С учетом вклада ритмических модуляторов СР, определяющих его вариабельность, электрокардиографический компонент ориентировочного рефлекса может быть представлен в виде комплекса следующих реакций: снижения ЧСС и увеличении мощности дыхательной и сосудистой модуляций СР. Изменения данных параметров СР в противоположном направлении указывают на появление оборонительного рефлекса.

Рассмотренные комплексы электрокардиографических проявлений ориентировочного и оборонительного рефлексов возникали в составе когнитивной деятельности (выполнения арифметических действий) и, по-видимому, характеризуют, с одной стороны, интерес субъекта к выполняемой деятельности (ориентировочный рефлекс) или отказ от трудного или неинтересного задания (оборонительная реакция на аверсивную ситуацию), с другой.

Выделение коактивации сосудистой и дыхательной модуляций в качестве одного из компонентов ориентировочного рефлекса согласуется с данными Кациоппо и его сотрудников (Cacioppo et al., 1994) о том, что ориентировочный рефлекс предполагает совместное усиление парасимпатических и симпатических влияний на сердце. Дыхательная модуляция отражает чисто парасимпатический эффект, тогда как сосудистый компонент спектра (волны Траубе-Геринга-Мейера около 0,1 Гц) рассматривается как совместная активация парасимпатического и симпатического отделов автономной нервной системы (Berntson et al., 1994 a, b).

По нашим данным процесс обучения активизирует ориентировочный рефлекс (комплекс реакций: коактивацию сосудистой и дыхательной модуляций и снижение ЧСС). Последний положительно коррелирует с эффективностью когнитивной деятельности. У тех субъектов, которые лучше и быстрее заучивали искусственные названия цветов, комплекс реакций ориентировочного типа возникал раньше и был более выражен (Данилова, 1995). Известно, что снижение ЧСС как компонент ориентировочного рефлекса сочетается с ЭЭГ-активацией и высвобождением в коре АХ, обеспечивающего процесс переработки информации. Сходные результаты по ЧСС получены при изучении динамики эффективности обучения профессиональным навыкам (монтажниц-вакуумщиц) в зависимости от эмоциональной стабильности субъекта. Описано появление фазы удлинения RR-интервала в 1 неделю обучения. У эмоционально-нестабильных субъектов она длится дольше, растягиваясь на три недели / (Фудин и др., 1994). Этому соответствует и менее успешное обучение этих/ субъектов. Кроме того авторы наблюдали у мастеров, т.е. у лиц, уже овладевших профессиональными навыками, привязку ориентировочной активации к "когнитивным этапам" деятельности: отчетливое возрастание величины RR-интервала возникало только на этапе "сборки узла",

требующего когнитивных усилий, а его укорочение на "моторных этапах" выполняемых операций. По данным Умрюхина и др. (1994), учащихся, устойчивых к эмоциональному стрессу, отличает от неустойчивых более высокая эффективность деятельности (работа на компьютере: программирование и исправление ошибок) и большие значения RR-интервала в фоновой ЭКГ.

Менее всего известно о природе метаболического модулятора сердечного ритма. Предполагают, что он отражает медленно протекающие процессы, связанные с регуляцией метаболизма, температуры тела и активностью гормонов и медиаторов. Два комплекса гуморальных реакций, обеспечивающих высокую эффективность деятельности, с одной стороны, и ее нарушения, с другой, описаны Хенри П. (Henry, 1986). Функциональное состояние, необходимое для успешной деятельности, характеризуется высоким содержанием тестостерона и низким уровнем кортизола - гормона стресса. Оборонительные, защитные реакции, приводящие к потере контроля над поведением, связаны с выбросом катехоламинов (А и НА) и главное с увеличением количества гормона стресса - кортизола. Можно предположить, что метаболическая модуляция включает в себя гуморальные компоненты как ориентировочного, так и оборонительного рефлексов, которые в составе метаболического фактора могут различаться лишь частотной полосой влияний.

Как следует из наших данных, структура спектра мощности СР плода человека существенно отличается от спектра взрослого человека. Для нормально развивающегося эмбриона на позднем периоде пренатального онтогенеза характерно преобладание метаболической модуляции над двумя другими. Особенно слабо представлена дыхательная система модуляции. Эти особенности спектра хорошо согласуются с данными о системогенезе сердечно-сосудистой системы и ее регуляции. Сердце эмбриона человека начинает сокращаться на 22 день (Little, 1990). Сначала оно не реагирует на симпатические и парасимпатические сигналы, а только на гуморальные. Аршавский И.А. (1967) обнаружил первые реакции сердца на сигналы автономной нервной системы у плодов кошек и собак лишь на последней трети внутриутробного развития. При этом сначала созревает, формируется симпатическая иннервация и только позже парасимпатическая. С приближением родов ЧСС плода уменьшается, что определяется усилением влияний блуждающего нерва.

Убывание в спектре РГ плода мощности в направлении от метаболической к дыхательной модуляции, по-видимому, отражает разную степень созревания и готовности трех осцилляторных систем, модулирующих ритм пейсмекера сердца. Подавление метаболической модуляции, которая наблюдается в группе плодов, отнесенных к "возбужденному" типу, отражает нарушения наиболее рано согреваемого гуморального механизма регуляции. При этом в группе "возбужденных" уровень дыхательной (парасимпатической) модуляции соответствует уровню "нормальной" группы и этим выгодно отличается от более слабой дыхательной аритмии в

группе тормозного типа. Хорошо выраженная дыхательная аритмия, отражающая силу парасимпатических влияний на сердце, по данным Поржеса (Forges, 1991), является положительным признаком, предсказывающим высокую вероятность выживаемости и нормального развития недоношенных детей. Можно предположить, что отклонение в развитии плода человека в группе "возбужденных" на поздней стадии пренатального онтогенеза, выражающееся в подавлении метаболической модуляции, в некоторой степени может компенсироваться дыхательной модуляцией, которая не отличается от нормы.

Малая мощность дыхательной аритмии даже у нормально развивающегося плода по сравнению со взрослыми испытуемыми, по-видимому, отражает недостаточную зрелость механизма парасимпатической регуляции и как следствие преобладание симпатической активации. Это подтверждается и более высокой частотой его пульса (около 140 уд/мин). Вместе с тем барорефлекс, вносящий свой вклад в дыхательную аритмию СР, уже функционирует у плода. В дуге аорты и коротидных синусах плодов овцы обнаружены барорецепторы, чувствительные к изменениям артериального давления. Раздражение этих рецепторов в результате повышения АД вызывает брадикардию, а при его понижении - тахикардию.

Высокая ЧСС и слабая дыхательная модуляция, характерная для плода, - показатель высокой активности, напряжения его нервной системы на позднем периоде пренатального развития. По этим параметрам СР функциональное состояние плода подобно состоянию стресса взрослого человека. Действительно, период позднего пренатального онтогенеза характеризуется протеканием наиболее интенсивных процессов созревания мозга. Именно в этот период происходит формирование специфической для человека структурной организации мозга.

На этом этапе организм плода особенно чувствителен ко всем влияниям, задерживающим рост и вызывающим нарушения нормального развития (Гармашова, 1959). Отклонения спектров СР плода человека от нормы в группах "возбужденных" и "заторможенных" определяют две формы проявления стрессонеустойчивости в группах гиперактивных и гипоактивных детей. Отсюда вытекает важность изучения пренатального развития особенно его позднего периода для выявления электрокардиографических коррелятов нормального онтогенеза и отклонений от него, приводящих к появлению различных форм детской неврологии и психической патологии. Метод векторного представления СР плода человека открывает новые перспективы для изучения механизмов регуляции функционального состояния и формирования индивидуальной стрессоустойчивости на этапе пренатального онтогенеза. Он позволяет дифференцировать функциональные состояния плода человека по параметрам ритмической модуляции СР, изменения которых не всегда находят отражение в ЧСС.

Выводы

1. Для больших наборов спектров РГ сердца студентов, школьников, беременных женщин и их плодов получены идентичные трехмерные векторные пространства **СР**, что указывает на существование системы трех частотных модуляторов RR-интервала (метаболического, сосудистого и дыхательного), которая формируется еще до рождения ребенка.

2. В составе когнитивной деятельности с помощью векторного представления **СР** выделены новые электрокардиографические компоненты ориентировочного и оборонительного рефлексов. Комплекс реакций в виде усиления ритмических сосудистых и дыхательных модуляций **СР** и снижения ЧСС рассматривается как активация по ориентировочному типу. Изменение этих параметров **СР** в противоположном направлении интерпретируется как усиление оборонительной реакции.

3. Низкая стрессоустойчивость определяется преобладанием оборонительных реакций над ориентировочными, на субъективном уровне этому соответствуют высокие значения личностной тревожности.

4. Векторное пространство **СР** плода человека является неинвазивным методом изучения пренатального развития ребенка, который позволяет по степени редукции трех ритмических модуляторов RR-интервала предсказывать нарушения его развития.

Литература

- Аршавский И.А. Очерки по возрастной физиологии. М. Медицина. 1967. 467 с.
- Гармашева Н.Л. Патологическая физиология внутриутробного развития. М. Медгиз. 1959. 323 с.
- Грачев А. Ю., Данилова Н. Н., Коршунова С. Г., Соколов Е.Н., Чернышенко Е. Н. Компьютерная программа анализа сердечного ритма "Психофизиологический эксперимент PF2". Рег. номер Н93624//Каталог отраслевого фонда алгоритмов и программ. М., 1993. Вып. 10, с. 65.
- Данилова Н. Н. Функциональные состояния: механизмы и диагностика. М. МГУ. 1985. 387 с.
- Данилова Н. Н. Психофизиологическая диагностика функциональных состояний. М.:МГУ, 1992. 192 с.
- Данилова Н.Н., Коршунова С.Г., Соколов Е.Н., Чернышенко Е.Н. Зависимость сердечного ритма от тревожности как устойчивой индивидуальной характеристики. // Журнал Высшей нервной деятельности им. И.П.Павлова. 1995г. Том 45. № 4, с 647-660.
- Данилова Н.Н. Сердечный ритм и информационная нагрузка. //Вестник МГУ. Серия 14 (Психология). 1995. № 4. с. 14-27.
- Данилова Н.Н. Функциональные состояния // Основы психофизиологии. М. ИНФРА-М. 1997. с 168-181.
- Соколов Е.Н. Восприятие и условный рефлекс. М. МГУ. 1958. 331 с.
- Суворов Н.Ф., Таиров О.П. Психофизиологические механизмы избирательного внимания. Л.: Наука. 1985. 287 с.
- Умрюхин Е.А., Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И. Становление квантов поведения у детей при обучении работе на компьютере// Экспериментальная и прикладная физиология. Социальная физиология: оценка состояния человека. 1994. Т. 4. М.: НИИ нормальной физиологии им. П.К.Анохина РАМН. с 33-42.

- Фудин Н.А., Гуменюк В.А., Классика С.Я. Адаптивные перестройки при формировании производственного навыка: анализ с позиции системного "квантования" поведения. // Экспериментальная и прикладная физиология. Социальная физиология: оценка состояния человека. 1994. Т. 4. М.: НИИ нормальной физиологии им. П.К.Анохина РАМН. с 21-32.
- Ханин Ю.А. Краткое руководство к применению шкалы реактивной и личностной тревожности Ч.Д. Спилберга. Л. 1976. 54 с.
- Andersen P., Andersson S.A. Physiological basis of the alpha rhythm. 1968. N. Y.
- Berntson G.G., Cacioppo J.T. and Quigley K.S. Autonomic Determinism: the Modes of Autonomic Control, the doctrine of Autonomic Space, and the Laws of autonomic Constraint // Psychol.Rev. 1991. Vol. 98. № 4. P. 459-487.
- Berntson G.G., Cacioppo J.T. and Quigley K.S. Respiratory sinus arrhythmia: autonomic origins, physiological mechanisms and psychological implications // Psychophysiol. 1994b. Vol. 30. № 2. P. 183-196.
- Berntson G.G., Cacioppo J.T. and Quigley K.S. and Farbo V.T. Autonomic Space and Psychophysiological Response // Psychophysiol. 1994c. Vol. 31. № 1. P. 44-61.
- Burne E.A., Porges S. W. Frequency-Specific Amplification of Heart Rate Rhythms Using Oscillatory Tilt // Psychophysiology. 1992. Vol. 29. N 1 p. 120-126.
- Cacioppo J.T., Berntson G.G., Binkley Ph.F., Quigley K.S., Uchino B.N. and Fieldstone A. Autonomic cardiac control. II. Noninvasive indices and basal response as revealed by autonomic blockades // Psychophysiol. 1994. Vol. 31. № 6. P. 583-598.
- Cacioppo J.T., Sokolov E.N. Orienting and Defense Reflexes: Vector Coding the Cardiac Response // Attention and Orienting: Sensory and Motivational Processes /Eds. P.J.Lang, R.F.Simons, M.T.Balaban. 1997. Lawrence Erlbaum Associates. London.P. 1-22.
- Graham F. K. Distinguishing among orienting, defense, and startle reflexes // The orienting reflex in humans /Eds. H. D. Kimmel, G. H. van Olst and J. F. Orlebeke. 1979. Hillsdale, N. Y., Lawrence Erlbaum. P. 137-169.
- Cracham F.K. Afterword: Pre-Attentive Processing and Passive and Active Attention /Attention and Orienting: Sensory and Motivational Processes /Eds. P.J.Lang, R.F.Simons, M.T.Balaban. 1997. Lawrence Erlbaum Associates. London .P. 417-452.
- Hatch J. P., Klatt K., Forges S. W., Schroeder-Jasheway L. and Supic J. The relation between rhythmic cardiovascular variability and reactivity to orthostatic, cognitive and cold pressor stress // Psychophysiology. 1986. Vol. 23. N 1. P. 48-56.
- Henry J.P. Neuroendocrine patterns of emotional response // Emotion, Theory, Research and Experience. Biological Foundations of Emotion. V. 3 (Eds. R.Plutchik, H. Kellerman). 1986. P. 37-67.
- Gray J. A. The Psychology of Fear and Stress. London. 1971. 256 P.
- Little G.A. Foetal growth and development // Assessment and Care of the foetus (Eds. Edem R.D. , Beehm F.H. USA. Appleton & Lange. 1990. P. 3-15.)
- Forges S. W. Vagal tone: an autonomic mediator of affect // Development of affect regulation and dysregulation /Eds. J. A. Garber and K. A. Dodge. 1991. N. Y.: Cambridge University press. P. 111-128.
- Schonpflug W. Anxiety, Prospective Orientation and Preparation // Invited Paper, presented at the Conference "Stress and Anxiety". Warszawa. 1983. P. 1-16.
- Szymusiak R. Magnocellular Nuclei of the Basal Forebrain: Substrates of Sleep and Arousal Regulation // Sleep. Vol.18. № 6. P. 478-500.