

Российский журнал Когнитивной науки

Том 3
№ 4

Декабрь 2016

WWW.COGJOURNAL.RU

ISSN 2313-4518



WWW.COGJOURNAL.ORG

Vol. 3
No. 4

December 2016

The Russian Journal of
COGNITIVE SCIENCE

The Russian Journal of Cognitive Science

<http://www.cogjournal.org/>

ISSN 2313-4518

Russian mass media certificate:

СМИ ЭЛ ФС 77 – 57220

Registered publisher: Ekaterina V. Pechenkova

Editorial office address: Yaroslavskaya ulitsa

13, office 229, 129366 Moscow, Russia

e-mail: info@cogjournal.org

Articles are distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the original author(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice.

Editor-in-Chief: Ekaterina V. Pechenkova

Editorial Board:

Tatiana V. Akhutina,
Mira B. Bergelson,
Olga V. Dragoy,
Varvara E. Dyakonova,
Maria V. Falikman,
Olga V. Fedorova,
Andrej A. Kibrik,
Andrei V. Kurgansky,
Dmitry V. Lyusin,
Regina I. Machinskaya,
Boris G. Meshcheryakov,
Vladimir F. Spiridonov,
Igor S. Utochkin,
Anna Yu. Shvarts,
Sergei L. Shishkin,
Nataliya A. Varako,
Roza M. Vlasova

Action editors of the current issue:
E.V. Pechenkova, M.V. Falikman,
T.V. Akhutina

English copy editor: Kelly Callahan
Russian proofreader: P.G. Lebedeva

Layout designer: S.M. Zlochevsky
Cover design: E.D. Akopian, A.A. Akopian

Российский журнал КОГНИТИВНОЙ НАУКИ

<http://www.cogjournal.ru/>

ISSN 2313-4518

Свидетельство о государственной
регистрации СМИ ЭЛ № ФС 77 – 57220

Учредитель: Е.В. Печенкова

Адрес редакции: 129366 Москва,

ул. Ярославская, д. 13, офис 229

e-mail: info@cogjournal.org

Статьи доступны по лицензии [Creative Commons "Attribution" \(«Атрибуция»\) 4.0. всемирная](#), согласно которой возможно неограниченное распространение и воспроизведение этих статей на любых носителях при условии указания автора и ссылки на исходную публикацию статьи в данном журнале в соответствии с канонами научного цитирования.

Главный редактор Е. В. Печенкова

Редакционный совет:

Т. В. Ахутина,
М. Б. Бергельсон,
Н. А. Варако,
Р. М. Власова,
О. В. Драгой,
В. Е. Дьяконова,
А. А. Кибрик,
А. В. Курганский,
Д. В. Люсин,
Р. И. Мачинская,
Б. Г. Мещеряков,
В. Ф. Спиридонов,
И. С. Уточкин,
М. В. Фаликман,
О. В. Федорова,
А. Ю. Шварц,
С. Л. Шишкин

Редакторы выпуска:
Е.В. Печенкова, М.В. Фаликман,
Т.В. Ахутина

Литературный редактор английских
текстов: Келли Кэллахэн

Корректор русских текстов: П. Г. Лебедева

Компьютерная вёрстка: С. М. Злочевский
Дизайн обложки: Е. Д. Акопян, А. А. Акопян.

Contents

Methods

Olga Dragoy, Anna Chrabaszcz, Valeria Tolkacheva, Svetlana Buklina.

Russian Intraoperative Naming Test: a Standardized Tool to Map Noun and Verb Production during Awake Neurosurgeries.....4

Russian version of the paper..... 14

Research Papers: Theory

Andrei V. Kurgansky.

On the Factors Affecting the Fastest Rate of Motor Sequence Production 26

Russian version of the paper..... 35

Alexandra Y. Koyfman.

Set and Unconscious Semantic Priming: Two Different Labels or Two Distinct Phenomena? (In Russian)... 45

Abstract in English 60

Discussion

Margarita G. Filippova.

Comparing Two Paradigms and the “Prepersonal Level” of Priming. Comments on A. Koyfman’s

“Set and Unconscious Semantic Priming: Two Different Labels or Two Distinct Phenomena?” (in Russian)..... 63

Abstract in English 66

Events in the Field

Vyacheslav Ivanov, Nikita Loginov.

Summer School in Memory of Karl Duncker “Theoretical and Applied Problems of Cognitive Psychology” (in Russian) 67

Abstract in English 72

Оглавление

Методы

- Ольга Викторовна Драгой, Анна Витальевна Крабис, Валерия Андреевна Толкачева, Светлана Борисовна Буклина. **Русский интраоперационный тест на название: стандартизированный инструмент для картирования функции названия существительных и глаголов во время нейрохирургических операций в сознании** (на английском языке)4
 Текст статьи на русском языке 14

Теоретические сообщения

- Андрей Васильевич Курганский. **О факторах, определяющих максимально быстрый темп выполнения двигательных последовательностей** (на английском языке)..... 26
 Текст статьи на русском языке 35
- Александра Яковлевна Койфман. **Установка и неосознаваемый семантический прайминг: разные термины или разные феномены?**..... 45
 Аннотация статьи на английском языке 60

Дискуссия

- Маргарита Георгиевна Филиппова. **Размышления над проблемой сопоставления двух парадигм и «доличностным уровнем» прайминга.** Комментарий к статье А. Я. Койфман «Установка и неосознаваемый семантический прайминг: разные термины или разные феномены?» 63
 Аннотация статьи на английском языке 66

Научная жизнь

- Вячеслав Иванов, Никита Логинов. **Летняя школа молодых ученых памяти Карла Дункера «Теоретические и прикладные проблемы когнитивной психологии»** 67
 Аннотация статьи на английском языке 72

methods

Russian Intraoperative Naming Test: a Standardized Tool to Map Noun and Verb Production during Awake Neurosurgeries

Olga Dragoy

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Anna Chrabaszczyk

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Valeria Tolkacheva

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Svetlana Buklina

National Scientific-Practical Center for Neurosurgery named after N. N. Burdenko, Moscow, Russia

Abstract. To minimize permanent postoperative deficits, functional mapping with direct electrical stimulation (DES) is becoming a gold standard when a brain tumor resection must be performed near or within eloquent areas. Due to the devastating impact of communication disabilities, language is one of the most commonly mapped functions. However, standardized linguistic protocols for intraoperative use are still scarce. Here we present the first Russian standardized naming test for mapping noun and verb production during awake neurosurgeries. Its development has been informed by modern (psycho)linguistic knowledge and DES requirements. The test was clinically piloted in a sample of 23 patients who underwent awake craniotomy, with results showing high relevance of the test in combination with DES for mapping language-relevant cortical and subcortical sites. The use of the test intraoperatively enabled extensive resection of tumor tissue while preserving language function in most of the tested patients. The test materials and protocols are freely available [online](#).

Correspondence: Olga Dragoy, odragoy@hse.ru, 21/4 Staraya Basmannaya, 105066 Moscow, Russia; Anna Chrabaszczyk, anna.lukyanchenko@gmail.com; Valeria Tolkacheva, tolkacheva.valeria@gmail.com; Svetlana Buklina, sbuklina@nsi.ru

Keywords: naming, language mapping, awake surgery, direct electrical stimulation, brain tumor, nouns, verbs

Copyright © 2016. Olga Dragoy, Anna Chrabaszczyk, Valeria Tolkacheva, Svetlana Buklina. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#) (CC BY), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the original authors are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice.

Acknowledgements. We extend gratitude to all patients who participated in piloting the test. This work could not have been done without the neurosurgeons, anesthesiologists, electrophysiologists and all accompanying medical staff of the National Scientific-Practical Center for Neurosurgery named after N. N. Burdenko.

Received 16 November 2016.

Introduction

Intraoperative mapping of sensorimotor and cognitive functions with direct electrical stimulation (DES) is a modern standard of surgical treatment of supratentorial tumors (Bello et al., 2006; Bertani et al., 2009; Duffau, 2007; Garrett, Pouratian, & Liau, 2012). The procedure can be performed following the asleep-awake-asleep protocol (first, the patient's brain is exposed under general anaesthesia, then the sedation is stopped for mapping purposes, and general anaesthesia resumes for the closure of the wound), or the full-awake protocol (the patient remains under local anaesthesia during the entire operation). In the central part of both protocols, DES is applied to the brain while the patient performs specific sensorimotor and cognitive tasks. Transient disturbance of the patient's performance is taken as an indication of functional relevance of the stimulated brain areas. Such functionally critical, or eloquent, regions are preserved during the subsequent tumor resection, in order to avoid postoperative deficits. In contrast to preoperative mapping with functional magnetic resonance imaging (fMRI), DES can be used intraoperatively to differentiate between regions which are essential for a particular function and those which reflect co-activation, indicating which can be resected without permanent deficits (Chang, Raygor, & Berger, 2015; Roux et al., 2003). Moreover, DES allows functional mapping in both grey and white matter; the latter cannot be achieved with fMRI (Rostrup et al., 2000; Wise, Ide, & Poulin, 2004).

Language is one of the most commonly mapped functions in awake surgery settings, because brain tumors are often located in language-relevant areas (Duffau, 2007; Tonn, 2007), and because language loss has a devastating impact on a person's life (Code, Hemsley, & Herrmann, 1999; Vickers, 2010). The seminal study by Ojemann (1979) showed that the areas crucially implicated in language are not restricted to the commonly recognized perisylvian language region, but extend to a larger cerebral network and also involve subcortical pathways. Subsequent studies showed high individual variability of language representation in the brain (Bizzi, 2009). Thus, language mapping with DES during awake surgery is of great clinical value because it allows surgeons to identify the individual boundaries of a functionally safe resection with a high degree of precision. There is a large body of clinical evidence suggesting that DES is associated with a significantly lower rate of postoperative communication disabilities (Duffau, 2005; Peruzzi et al., 2011; Sacko et al., 2011).

For decades, number counting and object naming have been the most commonly used tasks during intraoperative language mapping (Bertani et al., 2009; Duffau, 2005; Metz-Lutz et al., 1991; Ojemann, Ojemann, Lettich & Berger, 1989). Counting constitutes an example of automatized language which is different from regular propositional language both in terms of processing and brain representation (Van Lancker Sidtis, Canterucci, & Katsnelson, 2009; Van Lancker Sidtis, McIntosh, & Grafton, 2003). In contrast, naming represents a better approach for mapping the language-relevant neural substrate (Brennan, Whalen, de Moraes Branco, O'Shea, Norton, & Golby, 2007). Naming, or picture-induced word retrieval, is a dynamic and multi-staged language process. According to a widely recognized model of lexical access by Levelt (Levelt, 1989; Levelt, Roelofs,

& Meyer, 1999), word retrieval is triggered by conceptual preparation (the activation of a concept to be named); it is followed by lexical selection and morphological encoding, which results in the activation of a lemma (a word in the mental lexicon containing its meaning and grammatical properties); the final stage involves phonetic encoding. The output of lexical access feeds motor realization; as a result, the word is articulated. These stages constitute the main process of human naturalistic language usage. Although attempts have been made to develop more comprehensive intraoperative language batteries, which would cover more detailed aspects of language production and comprehension (Coello et al., 2013; Papagno et al., 2012; Polczynska, 2009; de Witte et al., 2015), object naming represents a gold standard in language mapping in awake surgeries due to the ease of task implementation and because it taps many processes relevant for naturalistic language (Chang, Raygor, & Berger, 2015).

Despite their prevalence in operation rooms of various countries, the naming tests used for speech mapping are overwhelmingly 'home-made' instruments with no normative data available. Exceptions to this are two tests for language mapping (at least, as described in the literature) which have been normed in neurologically healthy speakers and validated in clinical populations: the standardized Dutch Intraoperative Linguistic Protocol (de Witte et al., 2015) and the Italian object and action naming test (Rofes, de Aguiar, & Miceli, 2015). Test standardization is critical for the adequate assessment of patients' performance during intraoperative testing. For example, it is not uncommon for a picture to have one dominant but also several non-dominant names, all of them being possible for a given picture. Standardization helps to identify more plausible and less plausible picture names in order to be able to distinguish between patients' correct and erroneous (paraphasic) responses during test performance (for example, it is correct to name a picture of a cactus 'a cactus' or 'a plant', but not correct to name it 'a rose'). As part of a comprehensive Russian intraoperative cognitive battery, which is now under development, we created an intraoperative naming test that is, to the best of our knowledge, the first standardized intraoperative test available in Russian. Driven by clinical need, our motivation was to design a modern, (psycho)linguistically informed and standard tool to map word production during awake neurosurgeries in Russian speaking patients with brain tumors¹.

Although object naming remains the most widespread version of naming tests, a large body of neurolinguistic literature suggests that object and action naming (resulting in noun and verb production, respectively) relate to only partly overlapping neural circuits (see Vigliocco, Vinson, Druks, Barber, & Cappa, 2011, for an overview). Specifically, a number of studies showed a greater involvement of temporal regions of the left hemisphere in noun production, and of frontal regions in verb production (Capitani, Laiacona, Mahon, & Caramazza, 2003; Damasio & Tranel, 1993; Pillon & d'Honinckh, 2010; Shapiro & Caramazza, 2003; Tyler, Bright, Fletcher, & Stamatakis, 2004; Zingeser & Berndt, 1990). The exact nature of the observed dissociation is not

¹ Although the object and action naming tests that we present in this paper were specifically designed for and piloted in a sample of patients with brain tumors (gliomas), we hope that in the future, the application of these tests can be extended to work in other clinical populations of patients with different brain pathologies.

yet clear (see Shapiro & Caramazza, 2003; Vigliocco et al., 2011, for a detailed discussion), but the currently recognized hypothesis (Berlingeri et al., 2008; Crepaldi, Berlingeri, Paulezu, & Luzzatti, 2011; Faroqi-Shah, 2012) relates it to the fact that verbs differ from nouns in terms of semantic, syntactic and even phonological properties, which influence how the brain processes these two word classes. In particular, it was suggested that action naming activates not only the verb per se, but its whole predicate-arguments structure (that is, the roles and referents obligatorily related to this action), thus implying the need for a greater degree of grammatical encoding compared to object naming (Bastiaanse & Van Zonneveld, 2004; Rofes, Spena, Miozzo, Fontanella, & Miceli, 2015; Vlasova, 2013). For example, the verb 'to cut' may activate an agent performing the action of cutting ('a cook') and an object that is being cut ('bread'). As a result, some intraoperative linguistic batteries (Bello et al., 2006, 2007; Lubrano, Filleron, Demonet, & Roux, 2014; de Witte et al., 2015) additionally include action naming tests to tap specific grammatical functions of verbs and their distinct neural representations.

Taking the above considerations into account, we developed both object and action naming tests, each designed to address specific foci on predominantly lexical (noun production) and additional grammatical (verb production) processes, respectively, during intraoperative language mapping. Importantly, in order to control for item variability between the two tests, the items' pictorial characteristics and word elicitation characteristics in the object and action naming tests were closely matched in terms of the following parameters: picture name agreement, subjective visual complexity, object/action familiarity, age of acquisition of a word, word imageability, image-word agreement, word frequency, and word length in syllables. Short definitions with explanations of how each normative parameter was calculated can be found on the webpage of the database of Russian nouns and verbs: <http://en.stimdb.ru/> (Akinina et al., 2014; Akinina et al., 2015).

The development of these tests was informed by the requirements of DES and the limitations imposed by the testing setting. Besides being grounded in contemporary theory, the tests have to be relevant, i.e. sensitive enough for identifying eloquent brain tissue and for allowing extensive resection of the tumor at the same time (Rofes, 2012). Moreover, the duration of each test trial (including item presentation and the patient's response) during intraoperative mapping should not last longer than 3–4 seconds (the duration of the stimulation effect) to allow for a valid interpretation of the performance outcome. Finally, the tests have to be ergonomic and easy to administer in the operating room (e.g., their administration should not require cumbersome equipment, and they should allow on-line monitoring).

Method

Participants

Between October 2014 and August 2016, the test was clinically applied in a group of 23 patients (mean age=38.5, $SD=8.7$, ranging from 25 to 55; 11 females) who under-

went an awake craniotomy procedure with intraoperative speech mapping. All patients were right-handed monolingual native speakers of Russian with gliomas (World Health Organization grade II–III) located within the left hemisphere of the brain in proximity to the presumed language-eloquent sites (typically in the left perisylvian cortex). Patients had gliomas involving the inferior frontal gyrus ($n=12$), the frontal-temporal regions ($n=2$), the frontal-parietal area ($n=1$), the temporal lobe ($n=5$), the temporal-insular regions ($n=2$), and the temporal-parietal regions ($n=1$). Demographic and clinical characteristics of the patients are presented in Table 1.

All patients were enrolled and operated on at the National Scientific-Practical Center for Neurosurgery named after N.N. Burdenko, in Moscow. The protocol was approved by the local ethical committee of the Center. Before each surgery, the neurosurgeon, anesthesiologist and neuropsychologist met with the patient to evaluate his or her suitability for the awake craniotomy procedure. If there were no medical or psychological contraindications, the patient was briefed on each step of the procedure in detail, after which an oral informed consent was obtained. Additionally, all patients underwent a thorough examination of all major cognitive functions according to Luria's neuropsychological assessment protocol (Luria, 1962/2012), prior to surgery. Preoperatively, language function was within normal ranges in 18 patients, 3 patients had efferent-motor and acoustic-mnestic aphasia, 1 patient had acoustic-mnestic aphasia with elements of efferent-motor aphasia, and 1 patient had a mild form of acoustic-mnestic aphasia.

Materials

Stimuli for the intraoperative object and action naming tests were selected from the normative databases of Russian nouns (Akinina et al., 2014) and verbs (Akinina et al., 2015). These databases contain pictures of objects and actions and their normative names, as well as other (psycho)linguistic parameters (each rated by 100 healthy native Russian speakers). Only items which had no more than four different names were included in the tests, to narrow the intraoperative identification of a correct response. Each of the tests contained 50 items corresponding to object/action pictures and their names (see Figure 1 for an example). Only manipulable nouns and action-related verbs were included, to narrow down semantic variability across these two word classes. Object and action naming tests were matched on available

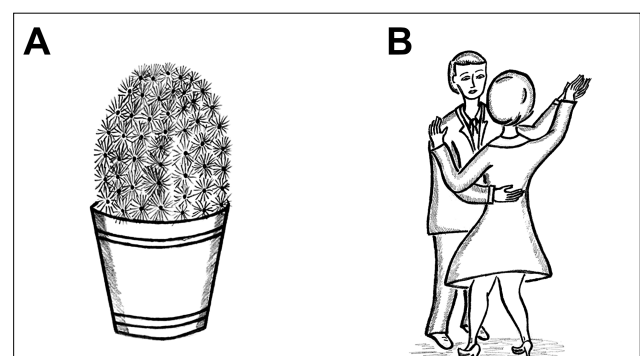


Figure 1. Examples of the items used in the object (A) and action (B) naming tests.

Table 1. Patients' Demographic and Tumor Characteristics

| Patient | Age | Gender | Tumor location | Tumor type | WHO grade | Preoperative aphasia |
|---------|-----|--------|-------------------|-----------------------------|-----------|---|
| 1 | 29 | m | frontal | oligoastrocytoma | II | No |
| 2 | 55 | m | frontal | anaplastic oligoastrocytoma | III | No |
| 3 | 49 | m | temporal-parietal | oligoastrocytoma | II-III | No |
| 4 | 48 | m | temporal-insular | oligoastrocytoma | II | No |
| 5 | 30 | f | temporal | diffuse astrocytoma | II | No |
| 6 | 25 | m | frontal | anaplastic astrocytoma | III | No |
| 7 | 33 | m | frontal | oligoastrocytoma | II | No |
| 8 | 42 | f | temporal | diffuse oligoastrocytoma | II | No |
| 9 | 29 | m | temporal | anaplastic astrocytoma | III | No |
| 10 | 33 | m | frontal | astrocytoma | II-III | No |
| 11 | 32 | f | temporal | diffuse astrocytoma | II | No |
| 12 | 34 | m | frontal | diffuse astrocytoma | II-III | No |
| 13 | 35 | m | frontal | anaplastic oligoastrocytoma | III | No |
| 14 | 35 | f | temporal-insular | diffuse astrocytoma | II | No |
| 15 | 34 | f | frontal-insular | diffuse astrocytoma | II-III | No |
| 16 | 45 | f | frontal | oligodendroglioma | II | Acoustic-mnemonic aphasia with elements of efferent motor |
| 17 | 46 | m | temporal | oligoastrocytoma | II | Mild acoustic-mnemonic aphasia |
| 18 | 39 | f | frontal-parietal | diffuse astrocytoma | II | Efferent-motor aphasia with elements of acoustic-mnemonic |
| 19 | 48 | f | frontal | oligoastrocytoma | II | Motor and acoustic-mnemonic aphasia |
| 20 | 36 | m | frontal-insular | oligoastrocytoma | II | Motor aphasia with elements of acoustic-mnemonic |
| 21 | 28 | f | frontal | oligoastrocytoma | II-III | No |
| 22 | 51 | f | frontal | diffuse oligodendroglioma | II | No |
| 23 | 50 | f | frontal | oligoastrocytoma | II-III | No |

pictorial and naming parameters. Using an alpha level of .05, Welch two sample t-tests did not reveal a statistically significant difference between the items in the object naming test and the action naming test in either pictorial parameters (picture name agreement: $t(90.4) = 0.01$, $p = .99$; subjective complexity: $t(86.4) = 1.3$, $p = .17$; object/action familiarity: $t(91.2) = 1.4$, $p = .16$), or naming parameters (age of acquisition: $t(96.6) = 1.6$, $p = .1$; imageability: $t(67.1) = -1.8$, $p = .08$; image-word agreement: $t(69.5) = 1.7$, $p = .1$; frequency: $t(56.7) = -1.3$, $p = .2$; and length: $t(91.8) = -1.6$, $p = .1$).

All test materials (lists of items with all their relevant parameters; intraoperative protocols; programmed stimuli presentations) are available [online](#). Their further clinical usage is strongly encouraged by the authors.

Procedure

The test was administered in two steps: preoperatively and intraoperatively. The selection of the test (object or action naming) depended on the tumor's location. Taking into account existing empirical evidence that patients with damage to the frontal lobe consistently show more difficulties with verbs rather than nouns, while patients with lesions in the temporal lobe exhibit more problems with nouns than verbs (Chen & Bates, 1998; Damasio & Tranel, 1993; Shapiro & Caramazza, 2003), we administered the action

naming test to patients with tumors located anteriorly to the central sulcus and the object naming test to patients with tumors involving temporal regions.

Preoperative assessment was performed one to three days before surgery in order to familiarize patients with the test procedure and to identify individually difficult items. Patients were presented with a set of 50 black and white pictures of objects or actions on a 10-inch tablet positioned at a distance comfortable for the patient. Pictures were strung together in a continuously playing movie (created in iMovie 10.1.3) intermitted by a beep signal (400 Hz, duration 500 milliseconds) every 3 seconds. The presentation of the movie clip could be paused at any time (e.g., when the patient was distracted or experienced fatigue) and then resumed, or rewound. Patients were instructed to say what object was depicted in the pictures for noun elicitation, or what the actors were doing in the pictures for verb elicitation, using preambles: *Eto* 'This is' (for objects), or *Tut* 'Here' (for actions). Such an elicitation procedure resulted in the production of nouns in the nominative case (e.g., *Eto kaktus* 'This is a cactus'), or verbs in the third person present tense (e.g., *Tut tanzujut* 'Here they are dancing'). The naming of the entire material list was repeated twice so that only unambiguously named pictures and only those coinciding with the naming outcomes in the normative database of Russian nouns (Akinina et al., 2014)

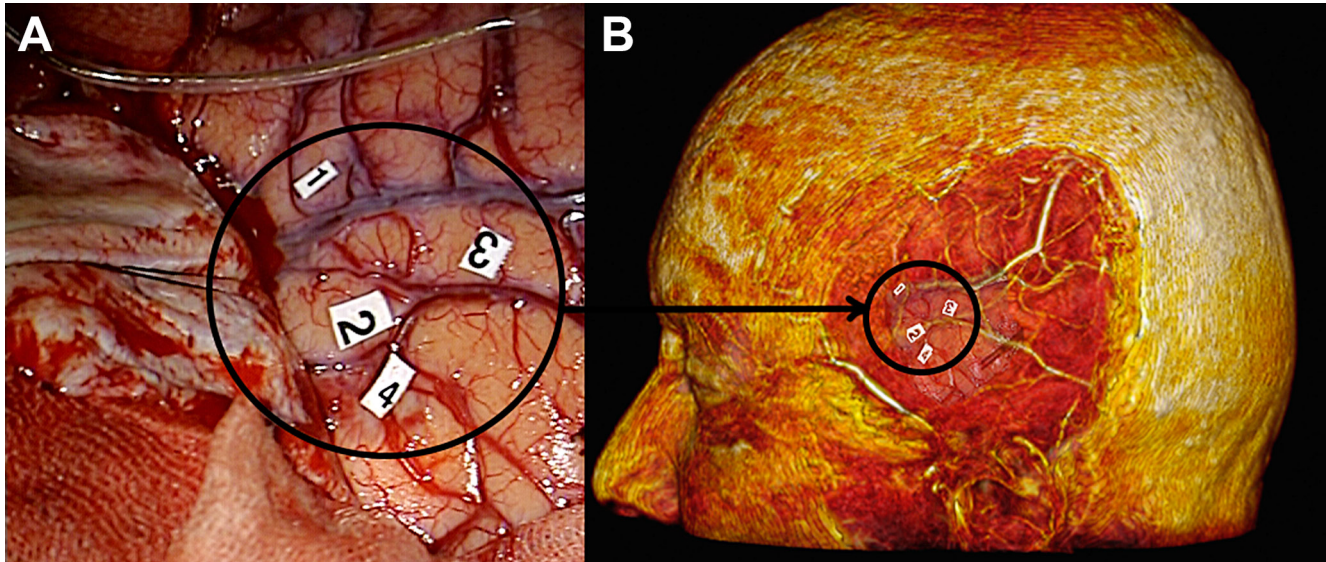


Figure 2. An example of the outcome of the intraoperative language mapping during awake neurosurgery: A) a photograph of the surgical cavity with mapped speech areas; B) ultrasound navigation of the mapped speech areas. Note: Tag 1: perseveration errors elicited at this site (inferior frontal gyrus); Tag 2: anomia (superior temporal gyrus); Tag 3: perseveration + anomia (superior temporal gyrus); Tag 4: anomia (superior temporal gyrus).

and verbs (Akinina et al., 2015) were preserved for each patient's personalized intraoperative protocol. This was done in order to exclude the risk of false positive results during intraoperative speech mapping.

Awake craniotomy was performed according to the general safety guidelines for surgery (World Health Organization, 2009) and following the specific guidelines for awake neurosurgery (Kayama, 2012). Intraoperative testing was performed under the asleep-awake-asleep protocol with DES of cortical and subcortical sites in the awake state. DES was administered according to the classical protocol described by Berger and Ojemann (1992) and took into account specific recommendations outlined by Szelényi et al. (2010). While the neurologist and neuropsychologist administered the naming test (one presenting the stimuli and interacting with the patient, and the other completing the protocol and monitoring the whole procedure), the neurosurgeon performed electrical stimulation at the sound of the beep (every 3 seconds) using a bipolar electrode with tips separated by 5 mm. The direct current was delivered in square wave pulses of 1 millisecond at 60 Hz. Current amplitude varied across patients and ranged, on average, from 2 to 6 mA. The individual stimulation intensity was determined by a neurophysiologist based on the presence of signs of epileptogenic activity in the electroencephalogram's signal. Stimulation sites were selected randomly, although the neurosurgeon tried to avoid stimulating two adjacent brain sites in succession in order to prevent epileptic seizures. If stimulation resulted in a naming disturbance (as evidenced by speech arrests, paraphasias, perseverations, anomia, etc.), a sterile tag with an identifying number was placed on the site. After a naming disturbance was detected, stimuli presentation was paused and resumed as soon as the patient had recovered and expressed readiness to continue. When possible, each positive site was stimulated at least three times for verification unless stimulation caused epileptic activity in the brain. A brain area was considered language positive if disturbance of naming performance was observed in most of the stimulation trials, although some areas showed variable outcomes. Eventually, only

unambiguous sites were kept and marked with the tags, and the neurosurgeon tried to spare the identified sites during tumor resection. As the resection progressed to the white matter, spontaneous speech was elicited from the patient continuously throughout the resection. The neurologist and the neuropsychologist asked the patient to talk freely on autobiographic topics (e.g., job, family, vacation, etc.) and monitored the patient for language disturbances during spontaneous speech. If disturbances were detected, resection was stopped and subcortical pathways were stimulated while the patient performed the naming test. After the tumor's functional boundaries were delineated this way, both cortically and subcortically, the resection stopped and the patient was put to sleep again. The number of test runs varied from patient to patient from 1 to 4, or from 50 to 200 trials (with and without stimulation), depending on the size of the exposed brain tissue, the state of the patient, the ease of retrieval, etc. Thus, the total duration of the intraoperative mapping procedure ranged from about 40 minutes to 4 hours. At the end of the resection, a digital picture of the surgical cavity with all the identified language sites (if any) was taken for subsequent analysis of speech errors and their localization (see Figure 2 for an example).

Results

Intraoperative Mapping

Intraoperative mapping was successfully performed in 20 out of 23 patients. In three patients, epileptic seizures and a semi-conscious state upon awakening prevented the administration of the intraoperative protocol. Therefore, data for these three patients were excluded from the subsequent analysis. The total number of electrical stimulations for the remaining 20 patients constituted 1,758 stimulations (mean number of stimulations per patient = 92, $SD = 36$, ranging from 33 to 150). When the speech mapping procedure was performed, two patients out of twenty did not show any clear language disturbances during stimulation;

Table 2. Parameters and Outcome of Intraoperative Speech Mapping

| Patient | Intraoperative test | Currency amplitude, mA | Number of stimulations | Number of positive language sites |
|---------|---------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| 1 | actions | n.a. | 60 | no clear language sites found |
| 2 | actions | 4–5 | 75 | 1 |
| 3 | objects | 3.7–5 | 33 | 3 |
| 4 | objects | 5–6 | 36 | 1 |
| 5 | objects | 2–5 | 104 | 2 |
| 6 | actions | 2–3 | 86 | 4 |
| 7 | actions | 2–3 | 34 | 2 |
| 8 | objects | n.a. | 150 | 5 |
| 9 | objects | 2–4 | 76 | 6 |
| 10 | actions | 3 | 124 | 3 |
| 11 | objects | 3 | 134 | 1 |
| 12 | actions | 3–4 | 124 | 3 |
| 13 | actions | 4–5 | 134 | 2 |
| 14 | objects | 2–2.4 | 61 | 6 |
| 15 | actions | 3–5 | 95 | 6 |
| 16 | actions | 2.5–4.5 | 103 | no clear language sites found |
| 17 | objects | 5 | n.a. | 2 |
| 18 | actions | n.a. | 104 | 7 |
| 19 | actions | 2–3.5 | 128 | 1 |
| 20 | actions | n.a. | 97 | 6 |

Table 3. Localization of Positive Language Sites and Corresponding Errors

| | Localization | Number of positive language sites | Error type |
|----------------|---|-----------------------------------|--|
| frontal | IFG (no precise location within the IFG was determined) | 14 | anomia, semantic paraphasia, unclear speech |
| | trIFG | 2 | anomia, circumlocution |
| | opIFG | 12 | anomia, perseveration, delay |
| | vPrG | 5 | semantic paraphasia, sensations in the tongue |
| temporal | aSTG/mSTG | 3 | semantic paraphasia |
| | pSTG | 3 | anomia, phonological paraphasia |
| | MTG | 2 | anomia, circumlocution |
| subcortical | SLF | 3 | anomia, perseveration |
| | AF | 10 | anomia, circumlocution, semantic paraphasia, perseveration, unclear speech |
| not classified | n.a. | 7 | anomia, semantic paraphasia, perseveration, delay |

Note: IFG=inferior frontal gyrus, trIFG=pars triangularis, opIFG=pars opercularis, vPrG=ventral pre-central gyrus, aSTG=anterior superior temporal gyrus, mSTG=middle superior temporal gyrus, pSTG=posterior superior temporal gyrus, MTG=middle temporal gyrus, SLF=superior longitudinal fasciculus, AF=arcuate fasciculus.

the total number of positive language sites in other patients constituted 61 sites (mean number of sites per patient = 3.4, $SD=2$, ranging from 1 to 7). The parameters of electrical stimulation and outcome of intraoperative speech mapping are presented in Table 2.

The locations of positive language sites were identified by neurosurgeons and recorded by the neurolinguist/neuropsychologist during the speech mapping procedure, and were subsequently confirmed based on intraoperative photographs. Taking into account the fact that the number of data points for each localization site was often insufficient for standard non-parametric analysis, and because of the unbalanced number of patients with frontal vs. temporal

lobe resections, we report descriptive statistics based only on the number of positive errors observed in each identified brain region (Table 3) and the distribution of various error types elicited in the two tasks (Table 4). Cortically, language disturbances were observed in the inferior frontal gyrus (pars triangularis and pars opercularis), ventral precentral gyrus, superior temporal gyrus and middle temporal gyrus. Subcortically, various types of language errors were elicited at the stimulation of the arcuate fasciculus and the superior longitudinal fasciculus, presumably. Seven positive language sites were not identified anatomically with enough precision.

Language disturbances due to electrical stimulation were classified into seven meaningful categories: anomia,

Table 4. Frequency (in %) of Occurrence of Various Language Errors in the Two Tests

| Error type | Definition | % of occurrences | | Example |
|-------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| | | object naming (<i>n</i> = 33) | action naming (<i>n</i> = 43) | |
| anomia | difficulty retrieving the target word, with preserved ability to pronounce words | 39.39 | 27.91 | |
| semantic paraphasia | substitution of the target word with a semantically related one | 18.18 | 13.95 | hippopotamus → rhinoceros |
| unclear speech | slurred, stuttered, or imprecisely articulated speech | 3.03 | 11.63 | |
| perseveration | compulsive repetition of the same word instead of the target word | 6.06 | 11.63 | |
| circumlocution | attempt to describe the word in a roundabout way instead of naming it. | 3.03 | 4.65 | sausage → we can eat it |
| delay | delayed naming of the target word | 12.12 | 9.30 | |
| phonological paraphasia | phonemic epenthesis, omission, substitution, metathesis, and repetition | 6.06 | 2.33 | domino → bimono |
| not classified | a heterogeneous group of errors including reporting of strange sensations, the use of obscene language, or failure to register error type | 12.12 | 18.60 | |

semantic paraphasia, unclear speech, perseveration, circumlocution, delayed response, and phonological paraphasia (see Table 4 for definitions of each error type). The most commonly observed type of error in both object and action naming tests was anomia (39.39% and 27.91%, respectively), elicited at various cortical and subcortical sites. Another frequently elicited error was semantic paraphasia (18.18% and 13.95%, respectively). Anomia and semantic paraphasia were observed more frequently during object naming compared to action naming, while unclear speech and perseverations were elicited more frequently during action naming compared to object naming. However, a chi-squared test did not reveal any statistically significant differences between the number of errors in the two tasks (anomia: $\chi^2 = 1.1$, $p = .3$; semantic paraphasia: $\chi^2 = 0.2$, $p = .6$; unclear speech: $\chi^2 = 1.8$, $p = .2$; perseveration: $\chi^2 = 0.7$, $p = .4$). Other types of errors were observed with approximately the same frequency.

Patient Outcome

In the immediate postoperative period (1–3 days after surgery), all patients underwent another neuropsychological assessment by the same neuropsychologist who performed it preoperatively. Table 5 shows the comparison of the results of patients' neuropsychological assessments before and after surgery. All patients were conventionally subdivided into several groups based on the results of the neuropsychological assessments depending on whether and to what extent their language function had changed postoperatively: 1) unchanged, 2) slightly deteriorated, 3) deteriorated, and 4) improved. Out of the 75% of patients who did not experience language problems preoperatively, 35% of patients preserved their language function intact after surgery, 25% of patients experienced mild language difficulties, and 15% of patients developed some type of aphasia. In 20% of patients out of the 25% who experienced mild language problems or were diagnosed with aphasia before surgery, language deficits were aggravated, and only 1 person (5%) showed a slight improvement postoperatively.

Discussion

The results suggest that the developed object and action naming tests are useful tools for intraoperative language mapping. Our intraoperative data show that the tests have allowed identification of positive language sites in 18 out of 20 patients who underwent the mapping procedure. There are several possible explanations for why positive language sites in the remaining two patients were not revealed intraoperatively. Notably, one of these patients (Patient #1) did not demonstrate language deficits postoperatively, suggesting that the intraoperative negative language mapping in this case may reflect a greater individual plasticity and the resulting distant relocation of language-eloquent areas (for a detailed discussion of neural plasticity in patients with brain tumors, see Duffau, 2005; 2014). With regard to the other patient (Patient #16), she already had some linguistic difficulties preoperatively, which were slightly aggravated after surgery. This makes it impossible to determine the exact reason of the negative intraoperative language mapping in her case — long-term evaluation of the language function is necessary.

When positive cortical sites were found, they were most commonly localized in the inferior frontal gyrus (in the opercular part, or in both the opercular and triangular parts) and in the superior temporal gyrus. Subcortically, stimulation of the arcuate fasciculus resulted in the most instances of language disturbance. At first glance, this perfectly matches traditional ideas about the inferior frontal and superior temporal cortices and the arcuate fasciculus connecting them as the major language substrate (Geswind, 1979). However, at the individual level, greater variability of language-positive sites was observed. For example, the ventral pre-central gyrus and middle temporal gyrus were found to be relevant for language in some patients. Also, inferior frontal and superior temporal regions were not always responsive to stimulation. These findings are explained by tumor-driven plasticity, and highlight the necessity of individual language mapping before tumor resection.

Table 5. Patient Outcome: Pre- and Postoperative Comparison

| Patient | Aphasia preoperatively | Aphasia postoperatively | Neuropsychological outcome |
|---------|---|---|----------------------------|
| 1 | No | No | Unchanged |
| 2 | No | No | Unchanged |
| 3 | No | No | Unchanged |
| 4 | No | No | Unchanged |
| 5 | No | No | Unchanged |
| 6 | No | No | Unchanged |
| 7 | No | No | Unchanged |
| 8 | No | Mild acoustic-mnemonic aphasia | Slightly deteriorated |
| 9 | No | Mild acoustic-mnemonic aphasia | Slightly deteriorated |
| 10 | No | Mild efferent and afferent motor aphasia | Slightly deteriorated |
| 11 | No | Mild acoustic-mnemonic and semantic aphasia | Slightly deteriorated |
| 12 | No | Mild dynamic aphasia | Slightly deteriorated |
| 13 | No | Efferent-motor aphasia with elements of acoustic-mnemonic | Deteriorated |
| 14 | No | Acoustic-mnemonic aphasia with elements of motor | Deteriorated |
| 15 | No | Efferent-motor and acoustic-mnemonic aphasia | Deteriorated |
| 16 | Acoustic-mnemonic aphasia with elements of motor aphasia | Efferent-motor and acoustic-mnemonic aphasia + dysarthria | Slightly deteriorated |
| 17 | Mild acoustic-mnemonic aphasia | Acoustic-mnemonic aphasia | Deteriorated |
| 18 | Efferent-motor aphasia with elements of acoustic-mnemonic | Efferent-motor aphasia | Deteriorated |
| 19 | Efferent-motor and acoustic-mnemonic aphasia | Efferent-motor and acoustic-mnemonic aphasia + dysarthria | Deteriorated |
| 20 | Motor aphasia with elements of acoustic-mnemonic | Acoustic-mnemonic aphasia with elements of motor | Improved |

The qualitative analysis of errors produced by the patients intraoperatively during both object naming and action naming tests shows that in most cases DES disturbed a word's lexical access, and not its motor realization. Despite being able to produce the preambles (*Eto 'This is' / Tut 'Here'*), patients most frequently were unable to come up with a target word (anomia) or replaced it with another irrelevant word (paraphasia). Thus, the developed tests are likely to target not just the motor aspects of language production (seen as a speech arrest), but rather a specific linguistic process related to word retrieval.

Regarding postoperative language outcomes, intraoperative mapping with the help of the object and action naming tests has allowed 7 out of 15 patients who did not have signs of aphasia preoperatively to retain the same language status postoperatively; 5 patients showed elements of aphasia and 3 patients demonstrated clear aphasic symptoms after the operation. Overall, patients were less likely to experience serious language problems after surgery provided that they did not have linguistic deficits preoperatively. However, in some patients, a deterioration of language was observed. Such transient deterioration has been previously reported for the acute postoperative stage and attributed to local swelling of the brain tissue; it usually resolves a few months after the operation (e.g., Duffau et al., 2002, 2003). As for the patients who already had preoperative aphasia or showed some elements of language dysfunction, our data suggest that it is unlikely that their language deficits were going to be resolved after

surgery, at least in the acute period. The lack of long-term neuropsychological and language assessments similar to what the patients underwent before and immediately after surgery constitutes the main limitation of the current study. Moreover, a small and very heterogeneous patient sample (different glioma types and grades, different tumor localization, etc.) does not permit for conclusive generalizations at this point. More balanced and homogeneous patient groups are required to address the comparison of patients' pre- and postoperative performance, as well as the question of the neural substrate for noun versus verb production.

Despite these limitations, the preliminary findings of the present study demonstrate the sensitivity of the designed tests in combination with DES for mapping language-relevant cortical and subcortical sites, and highlight intraoperative relevance and value not only of object naming tasks, but also action naming tasks. Using these tests, we identified positive language sites in 18 out of 20 patients intraoperatively. The individual topography of these sites reflects tumor-driven plasticity and stresses the necessity of intraoperative language mapping. The two (psycho)linguistically matched object and action naming tests represent the first attempt at a methodologically controlled intraoperative testing of the language function in Russian-speaking patients during awake brain surgery. Test materials, preoperative and intraoperative protocols and testing instructions are freely available online for further clinical use and verification.

References

- Akinina, Y., Malyutina, S., Ivanova, M., Iskra, E., Mannova, E., & Dragoy, O. (2015). Russian normative data for 375 action pictures and verbs. *Behavior Research Methods*, 47(3), 691–707. doi:10.3758/s13428-014-0492-9
- Akinina, Y. S., Iskra, E. V., Ivanova, M. V., Grabovskaya, M. A., Isaev, D. Y., Korkina, I., Malyutina, S. A., & Sergeeva, N. (2014). Biblioteka stimulov "Suschestvitel'noe I object": normirovanie psikholingvistichekikh parametrov [Stimuli database "Noun and object": norming of psycholinguistic variables]. In B. Velichkovskiy, V. Rubtsov, & D. Ushakov (Eds.), *Shestaya mezhdunarodnaya konferentsiya po kognitivnoy nauke: Tezisy dokladov. [Sixth International Conference on Cognitive Science: Abstracts]* (pp. 112–114). Kaliningrad: (In Russian).
- Bastiaanse, R., & Van Zonneveld, R. (2004). Broca's aphasia, verbs and the mental lexicon. *Brain and Language*, 90(1), 198–202. doi:10.1016/s0093-934x(03)00432-2
- Bello, L., Acerbi, F., Giussani, C., Baratta, P., Taccone, P., & Songa, V. (2006). Intraoperative language localization in multilingual patients with gliomas. *Neurosurgery*, 59(1), 115–125. doi:10.1227/01.neu.0000219241.92246.fb
- Bello, L., Gallucci, M., Fava, M., Carrabba, G., Giussani, C., Acerbi, F., Baratta, P., Songa, V., Conte, V., Branca, V., Stocchetti, N., Papagno, C. & Gaini, S.M. (2007). Intraoperative subcortical language tract mapping guides surgical removal of gliomas involving speech areas. *Neurosurgery*, 60(1), 67–82. doi:10.1227/01.neu.0000249206.58601.de
- Berger, M.S., & Ojemann, G.A. (1992). Intraoperative brain mapping techniques in neuro-oncology. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*, 58(1--4), 153–161. doi:10.1159/000098989
- Berlingeri, M., Crepaldi, D., Roberti, R., Scialfa, G., Luzzatti, C., & Paulesu, E. (2008). Nouns and verbs in the brain: Grammatical class and task specific effects as revealed by fMRI. *Cognitive Neuropsychology*, 25(4), 528–558. doi:10.1080/02643290701674943
- Bertani, G., Fava, E., Casaceli, G., Carrabba, G., Casarotti, A., Papagno, C., Castellano, A., Falini, A., Gaini, S.M., & Bello, L. (2009). Intraoperative mapping and monitoring of brain functions for the resection of low-grade gliomas: Technical considerations. *Neurosurgical Focus*, 27(4), E4. doi:10.3171/2009.8.focus09137
- Bizzi, A. (2009). Presurgical mapping of verbal language in brain tumors with functional MR imaging and MR tractography. *Neuroimaging Clinics of North America*, 19(4), 573–596. doi:10.1016/j.nic.2009.08.010
- Brennan, N.M.P., Whalen, S., de Moraes Branco, D., O'Shea, J.P., Norton, I.H., & Golby, A.J. (2007). Object naming is a more sensitive measure of speech localization than number counting: converging evidence from direct cortical stimulation and fMRI. *Neuroimage*, 37(Supplement 1), S100–S108. doi:10.1016/j.neuroimage.2007.04.052
- Capitani, E., Laiacina, M., Mahon, B., & Caramazza, A. (2003). What are the facts of semantic category-specific deficits? A critical review of the clinical evidence. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3--6), 213–261. doi:10.1080/02643290244000266
- Chang, E.F., Raygor, K.P., & Berger, M.S. (2015). Contemporary model of language organization: an overview for neurosurgeons. *Journal of Neurosurgery*, 122(2), 250–261. doi:10.3171/2014.10.jns132647
- Chen, S., & Bates, E. (1998). The dissociation between nouns and verbs in Broca's and Wernicke's aphasia: Findings from Chinese. *Aphasiology*, 12(1), 5–36. doi:10.1080/02687039808249441
- Code, C., Hemsley, G., & Herrmann, M. (1999). The emotional impact of aphasia. In *Seminars in speech and language*, Vol. 20 (pp. 19–31). doi:10.1055/s-2008-1064006
- Coello, A.F., Moritz-Gasser, S., Martino, J., Martinoni, M., Matsuda, R., & Duffau, H. (2013). Selection of intraoperative tasks for awake mapping based on relationships between tumor location and functional networks: A review. *Journal of Neurosurgery*, 119(6), 1380–1394. doi:10.3171/2013.6.jns122470
- Crepaldi, D., Berlingeri, M., Paulesu, E., & Luzzatti, C. (2011). A place for nouns and a place for verbs? A critical review of neurocognitive data on grammatical-class effects. *Brain and Language*, 116(1), 33–49. doi:10.1016/j.bandl.2010.09.005
- Damasio, A.R., & Tranel, D. (1993). Nouns and verbs are retrieved with differently distributed neural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90(11), 4957–4960. doi:10.1073/pnas.90.11.4957
- De Witte, E., Satoer, D., Robert, E., Colle, H., Verheyen, S., Visch-Brink, E., & Mariën, P. (2015). The Dutch Linguistic Intraoperative Protocol: A valid linguistic approach to awake brain surgery. *Brain and Language*, 140, 35–48. doi:10.1016/j.bandl.2014.10.011
- Duffau, H. (2005). Lessons from brain mapping in surgery for low-grade glioma: insights into associations between tumour and brain plasticity. *The Lancet Neurology*, 4(8), 476–486. doi:10.1016/s1474-4422(05)70140-x
- Duffau, H. (2007). Contribution of cortical and subcortical electrostimulation in brain glioma surgery: Methodological and functional considerations. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 37(6), 373–382. doi:10.1016/j.neucli.2007.09.003
- Duffau, H. (2014). Diffuse low-grade gliomas and neuroplasticity. *Diagnostic and Interventional Imaging*, 95(10), 945–955. doi:10.1016/j.diii.2014.08.001
- Duffau, H., Capelle, L., Denvil, D., Gatignol, P., Sichez, N., Lopes, M., Sichez, J.-P., & Van Effenterre, R. (2003). The role of dominant premotor cortex in language: A study using intraoperative functional mapping in awake patients. *Neuroimage*, 20(4), 1903–1914.
- Duffau, H., Capelle, L., Sichez, N., Denvil, D., Lopes, M., Sichez, J.-P., Bitar, A., & Fohanno, D. (2002). Intraoperative mapping of the subcortical language pathways using direct stimulations. *Brain*, 125(1), 199–214.
- Faroqi-Shah, Y. (2012). Grammatical category dissociations in multilingual aphasia. In M.R. Gitterman, M. Goral, & L.K. Obler (Eds.), *Aspects of multilingual aphasia* (pp. 158–170). Clevedon, UK: Multilingual Matters. doi:10.1080/02643294.2010.509340
- Garrett, M.C., Pouratian, N., & Liau, L.M. (2012). Use of language mapping to aid in resection of gliomas in eloquent brain regions. *Neurosurgery Clinics of North America*, 23(3), 497–506. doi:10.1016/j.nec.2012.05.003
- Geschwind, N. (1979). Specializations of the human brain. *Scientific American*, 241, 180–199. doi:10.1038/scientificamerican0979-180
- Kayama, T. (2012). The guidelines for awake craniotomy guidelines committee of the Japan awake surgery conference. *Neurologia Medico-Chirurgica*, 52(3), 119–141. doi:10.2176/nmc.52.119
- Levelt, W.J.M. (1989). *Speaking: From intention to articulation*. Cambridge, MA: MIT Press. doi:10.5860/choice.27-1947
- Levelt, W.J.M., Roelofs, A., & Meyer, A.S. (1999). A theory of lexical access in speech production. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(01), 1–38. doi:10.1017/s0140525x99001776
- Lubrano, V., Filleron, T., Démonet, J.-F., & Roux, F.-E. (2014). Anatomical correlates for category-specific naming of objects and actions: A brain stimulation mapping study. *Human Brain Mapping*, 35(2), 429–443. doi:10.1002/hbm.22189
- Luria, A.R. (1962/2012). *Higher cortical functions in man and their disturbances in local brain lesions*. Moscow: Moscow University Publishing House (in Russian); Springer Science & Business Media (2012) (English Edition).
- Metz-Lutz, M.N., Kremin, H., Deloche, G., Hannequin, D., Ferrand, L., Perrier, D., Quint, S., Dordain, M., Bunel, G., Cardebat, D., Larroque C., Lota, A.M., Pichard B, & Blavier, A. (1991). Standardisation d'un test de dénomination orale: contrôle des effets de l'âge, du sexe et du niveau de scolarité chez les sujets adultes normaux. *Revue de Neuropsychologie*, 1(1), 73–95.

- Ojemann, G. A. (1979). Individual variability in cortical localization of language. *Journal of Neurosurgery*, 50(2), 164–169. doi:10.3171/jns.1979.50.2.0164
- Ojemann, G., Ojemann, J., Lettich, E., & Berger, M. (1989). Cortical language localization in left, dominant hemisphere: An electrical stimulation mapping investigation in 117 patients. *Journal of Neurosurgery*, 71(3), 316–326. doi:10.3171/jns.1989.71.3.0316
- Papagno, C., Casarotti, A., Comi, A., Gallucci, M., Riva, M., & Bello, L. (2012). Measuring clinical outcomes in neuro-oncology. A battery to evaluate low-grade gliomas (LGG). *Journal of Neuro-Oncology*, 108(2), 269–275. doi:10.1007/s11060-012-0824-5
- Peruzzi, P., Bergese, S. D., Vilorio, A., Puente, E. G., Abdel-Rasoul, M., & Chiocca, E. A. (2011). A retrospective cohort-matched comparison of conscious sedation versus general anesthesia for supratentorial glioma resection. *Journal of Neurosurgery*, 114(3), 633–639. doi:10.3171/2010.5.jns1041
- Pillon, A., & d'Honinchtun, P. (2010). The organization of the conceptual system: The case of the “object versus action” dimension. *Cognitive Neuropsychology*, 27(7), 587–613. doi:10.1080/02643294.2011.609652
- Połyńska, M. (2009). New tests for language mapping with intraoperative electrical stimulation of the brain to preserve language in individuals with tumors and epilepsy: A preliminary follow-up study. *Poznań Studies in Contemporary Linguistics*, 45(2), 261–279. doi:10.2478/v10010-009-0015-5
- Rofes, A. (2012). *The verb in sentence context test: Standardization and application in awake neurosurgery*. Unpublished master's thesis, Rijksuniversiteit Groningen.
- Rofes, A., de Aguiar, V., & Miceli, G. (2015). A minimal standardization setting for language mapping tests: An Italian example. *Neurological Sciences*, 36(7), 1113–1119. doi:10.1007/s10072-015-2192-3
- Rofes, A., Spena, G., Miozzo, A., Fontanella, M. M., & Miceli, G. (2015). Advantages and disadvantages of intraoperative language tasks in awake surgery: A three-task approach for prefrontal tumors. *Journal of Neurosurgical Sciences*, 59(4), 337–349.
- Rostrup, E., Law, I., Blinkenberg, M., Larsson, H. B. W., Born, A. P., Holm, S., & Paulson, O. (2000). Regional differences in the CBF and BOLD responses to hypercapnia: A combined PET and fMRI study. *Neuroimage*, 11(2), 87–97. doi:10.1006/nimg.1999.0526
- Roux, F.-E., Boulanouar, K., Lotterie, J.-A., Mejdoubi, M., LeSage, J. P., & Berry, I. (2003). Language functional magnetic resonance imaging in preoperative assessment of language areas: Correlation with direct cortical stimulation. *Neurosurgery*, 52(6), 1335–1347. doi:10.1227/01.neu.0000064803.05077.40
- Sacko, O., Lauwers-Cances, V., Brauge, D., Sesay, M., Brenner, A., & Roux, F.-E. (2011). Awake craniotomy vs surgery under general anesthesia for resection of supratentorial lesions. *Neurosurgery*, 68(5), 1192–1199. doi:10.1227/01.neu.0b013e31820c02a3
- Shapiro, K., & Caramazza, A. (2003). Grammatical processing of nouns and verbs in left frontal cortex? *Neuropsychologia*, 41(9), 1189–1198. doi:10.1016/s0028-3932(03)00037-x
- Szelényi, A., Bello, L., Duffau, H., Fava, E., Feigl, G. C., Galanda, M., Neuloh, G., Signorelli, F., & Sala, F. (2010). Intraoperative electrical stimulation in awake craniotomy: Methodological aspects of current practice. *Neurosurgical Focus*, 28(2), E7. doi:10.3171/2009.12.focus09237
- Tonn, J. C. (2007). Awake craniotomy for monitoring of language function: Benefits and limits. *Acta Neurochirurgica*, 149(12), 1197–1198. doi:10.1007/s00701-007-1368-x
- Tyler, L. K., Bright, P., Fletcher, P., & Stamatakis, E. A. (2004). Neural processing of nouns and verbs: The role of inflectional morphology. *Neuropsychologia*, 42(4), 512–523. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2003.10.001
- Van Lancker Sidtis, D., Canterucci, G., & Katsnelson, D. (2009). Effects of neurological damage on production of formulaic language. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 23(4), 270–284. doi:10.1080/02699200802673242
- Vanlancker-Sidtis, D., McIntosh, A. R., & Grafton, S. (2003). PET activation studies comparing two speech tasks widely used in surgical mapping. *Brain and Language*, 85(2), 245–261. doi:10.1016/s0093-934x(02)00596-5
- Vickers, C. P. (2010). Social networks after the onset of aphasia: The impact of aphasia group attendance. *Aphasiology*, 24(6–8), 902–913. doi:10.1080/02687030903438532
- Vigliocco, G., Vinson, D. P., Druks, J., Barber, H., & Cappa, S. F. (2011). Nouns and verbs in the brain: A review of behavioural, electrophysiological, neuropsychological and imaging studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 35(3), 407–426. doi:10.1016/j.neubiorev.2010.04.007
- Vlasova, R. M. (2013). *Mozgovye mekhanizmy nominativnoi funktsii rechi: neiropsikhologicheskii i neirovizualizatsionnyi podkhod [Brain mechanisms of the naming speech function: neuropsychological and neuroimaging approach]*. Unpublished doctoral dissertation, Lomonosov Moscow State University. (In Russian).
- Wise, R. G., Ide, K., Poulin, M. J., & Tracey, I. (2004). Resting fluctuations in arterial carbon dioxide induce significant low frequency variations in BOLD signal. *Neuroimage*, 21(4), 1652–1664. doi:10.1016/j.neuroimage.2003.11.025
- World Health Organization (2009). *WHO guidelines for safe surgery 2009: safe surgery saves lives*. WHO Press.
- Zingeser, L. B., & Berndt, R. S. (1990). Retrieval of nouns and verbs in agrammatism and anomia. *Brain and Language*, 39(1), 14–32. doi:10.1016/0093-934x(90)90002-x

МЕТОДЫ

Русский интраоперационный тест на называние: стандартизированный инструмент для картирования функции называния существительных и глаголов во время нейрохирургических операций в сознании

Ольга Викторовна Драгой

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

Анна Витальевна Крабис

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

Валерия Андреевна Толкачева

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

Светлана Борисовна Буклина

Национальный научно-практический центр нейрохирургии имени академика Н. Н. Бурденко, Москва, Россия

Аннотация. Интраоперационное функциональное картирование головного мозга с помощью электрической стимуляции становится золотым стандартом нейрохирургического лечения, призванным снизить вероятность необратимого постоперационного функционального дефицита у пациентов с опухолью головного мозга, находящейся в функционально значимых зонах или прилегающей к ним. Так как способность говорить и понимать окружающих имеет огромное значение в жизни любого человека, речь является одной из наиболее часто картируемых функций. Однако стандартизированные лингвистические протоколы, пригодные для интраоперационного использования, до сих пор остаются немногочисленными. В настоящем исследовании мы представляем первый русскоязычный стандартизированный тест на называние для интраоперационного картирования порождения существительных и глаголов во время нейрохирургических операций с пробуждением. При разработке теста мы опирались на имеющиеся современные (психо)лингвистические знания, а также учитывали методические требования к тесту, связанные с проведением электростимуляции. Данный тест был клинически апробирован на выборке из 23 пациентов, которым была показана краниотомия в сознании. Результаты использования теста во время операции на фоне электростимуляции мозга показали, что тест является пригодным для интраоперационного картирования речевых зон как в кортикальных, так и в субкортикальных структурах. Проведенное во время операции тестирование позволило удалить обширные участки опухоли, при этом сохранив способность к пониманию и порождению речи у большинства протестированных пациентов. Все материалы и протоколы для тестирования находятся в [свободном доступе онлайн](#).

Контактная информация: Ольга Викторовна Драгой, odragoy@hse.ru, 105066 Москва, ул. Старая Басманная, 21/4; Анна Витальевна Крабис, anna.lukyanchenko@gmail.com; Валерия Андреевна Толкачева, tolkacheva.valeria@gmail.com; Светлана Борисовна Буклина, sbuklina@nsi.ru.

Ключевые слова: название, функциональное картирование речи, операция с пробуждением, электрическая стимуляция мозга, опухоль головного мозга, существенные, глаголы

© 2016 Ольга Викторовна Драгой, Анна Витальевна Крабис, Валерия Андреевна Толкачева, Светлана Борисовна Буклина. Данная статья доступна по лицензии [Creative Commons "Attribution" \(«Атрибуция»\) 4.0. всемирная](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), согласно которой возможно неограниченное распространение и воспроизведение этой статьи на любых носителях при условии указания авторов и ссылки на исходную публикацию статьи в данном журнале в соответствии с канонами научного цитирования.

Благодарности. Мы выражаем благодарность всем пациентам, которые участвовали в апробации данного теста. Эта работа не состоялась бы без участия нейрохирургов, анестезиологов, электрофизиологов и сопровождающего медицинского персонала Национального научно-практического центра нейрохирургии имени академика Н. Н. Бурденко.

Статья поступила в редакцию 16 ноября 2016 г.

Введение

Интраоперационное картирование сенсомоторных и когнитивных функций с помощью метода электрической стимуляции головного мозга является современным стандартом хирургического лечения внутримозговых опухолей (Bello et al., 2006; Bertani et al., 2009; Duffau, 2007; Garrett et al., 2012). Процедура может осуществляться согласно протоколу сон-бодрствование-сон (*англ.* — asleep-awake-asleep), когда сначала пациент находится в состоянии наркоза для осуществления хирургического доступа к мозгу, затем проводится функциональное картирование в состоянии бодрствования, после чего наркоз (или седация) возобновляется на время закрытия раны и завершения операции, или при постоянном бодрствовании (когда пациент находится в сознании под воздействием местной анестезии на протяжении всей операции). В обоих случаях электрическая стимуляция мозга применяется на этапе выполнения пациентами специальных заданий на оценку их когнитивных и сенсомоторных функций. Временное нарушение выполнения задания во время стимуляции рассматривается как свидетельство вовлеченности стимулируемого участка мозга в осуществлении картируемой функции. Подобные функционально значимые (*англ.* — eloquent) зоны по возможности оставляют нетронутыми при дальнейшем удалении опухоли во избежание послеоперационного функционального дефицита. В отличие от дооперационной локализации функционально значимых зон с помощью метода функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ), электрическая стимуляция мозга может проводиться интраоперационно для разграничения мозговых зон, сохранность которых является необходимым условием для осуществления определенной функции, и зон, которые отражают коактивацию и которые могут быть удалены без необратимых дефицитов (Chang et al., 2015; Roux et al., 2003). Более того, электрическая стимуляция позволяет производить функциональное картирование как в сером веществе, так и в белом веществе, в то время как локализация функционально значимых зон в структурах белого вещества с помощью метода фМРТ затруднена (Rostrup et al., 2000; Wise et al., 2004).

Речь является одной из наиболее часто картируемых функций во время операций с пробуждением, так как опухоли головного мозга часто располагаются близ областей, вовлеченных в языковую обработку (Duffau, 2007; Tonp, 2007), а утрата речевой функции имеет огромное негативное влияние на жизнь человека (Code et al., 1999; Vickers, 2010). В своей основополагающей работе Оджеманн показал, что зоны, вовлеченные в обработку речи, не ограничиваются лишь общепризнанной перисильвиевой областью, а распространяются на более обширный мозговой субстрат, включая субкортикальные проводящие пути (Ojemann, 1979). Последующие работы продемонстрировали высокую индивидуальную вариабельность репрезентаций речевых функций в мозге (Bizzi, 2009). В связи с этим картирование речевой функции с помощью электрической стимуляции во время операций с пробуждением имеет большое клиническое значение, так как позволяет выявить границы функционально безопасной резекции опухоли с высокой степенью точности для каждого отдельного пациента. Существуют клинические данные, свидетельствующие о том, что использование метода электростимуляционного картирования приводит к значительно меньшему количеству случаев послеоперационного речевого дефицита (Duffau, 2005; Peruzzi et al., 2011; Sacko et al., 2011).

На протяжении долгого времени наиболее распространенными заданиями для интраоперационного картирования речи являлись тест на название объектов и счет (Bertani et al., 2009; Duffau, 2005; Metz-Lutz et al., 1991; Ojemann et al., 1989). Счет является примером автоматизированной речи, которая отличается от обычной развернутой, или пропозициональной, речи как с точки зрения психологических механизмов, так и с точки зрения репрезентаций в мозге (Van Lancker Sidtis et al., 2009; Van Lancker Sidtis et al., 2003). Напротив, тест на название является более подходящим для картирования мозгового субстрата, участвующего в речевой обработке (Brennan et al., 2007). Название, или порождение слов по рисунку, является динамичным и многоступенчатым речевым процессом. Согласно общепринятой модели лексического доступа (Levelt, 1989; Levelt et al., 1999), извлечение слова начинается с концептуализации (активации концепта, подлежащего называнию), за которой следует лексический выбор и морфологическая кодировка, в результате чего проис-

ходит активация леммы (репрезентации в ментальном лексиконе, которая содержит информацию о значении и грамматических характеристиках слова); на финальной стадии происходит фонетическая кодировка слова. Этот результат лексического доступа используется для построения моторного плана и артикуляции слова. Вышеперечисленные стадии являются основными составляющими процесса естественного порождения речи. Несмотря на то, что были предприняты попытки разработать более комплексную интраоперационную батарею тестов для выявления речевых зон, которая бы учитывала более специфические аспекты порождения и понимания речи (Coello et al., 2013; Papagno et al., 2012; Polczynska, 2009; de Witte et al., 2015), тест на название объектов продолжает оставаться золотым стандартом в картировании речи во время нейрохирургических операций с пробуждением в силу простоты процедуры его использования и в силу того, что его выполнение затрагивает многие процессы, характерные для естественного порождения речи (Chang et al., 2015).

Несмотря на широкое использование тестов на название в нейрохирургической практике в разных странах мира, большинство таких тестов по преимуществу являются ненормированными и предназначенными для узкого использования внутри определенного медицинского учреждения. Исключение составляют лишь несколько имеющихся тестов (по крайней мере, описанных в литературе), нормированных на выборке неврологически здоровых людей и апробированных на клинической выборке: стандартизированный голландский интраоперационный лингвистический протокол (de Witte et al., 2015) и итальянский тест на название объектов и действий (Rofes, de Aguiar, Miceli, 2015). Стандартизация теста имеет большое значение для правильной оценки реакции пациентов во время интраоперационного тестирования. Например, часто изображение может иметь как доминантную, так и несколько субдоминантных номинаций, причем все из них могут являться приемлемыми словесными обозначениями для данного рисунка. Процедура стандартизации стимулов помогает выявить более и менее вероятные номинации для каждого конкретного изображения с целью разграничить правильные и ошибочные ответы (парафазии) пациентов во время выполнения теста (например, номинации «кактус» или «растение» являются приемлемыми для изображения кактуса, в то время как номинация «роза» является неподходящей). В данной работе мы представляем первый стандартизированный интраоперационный тест на название на русском языке, который разрабатывался как отдельный субтест комплексной Русской интраоперационной когнитивной батареи тестов. Создание такого теста было обусловлено клинической потребностью в стандартизованном, (психо)лингвистически обоснованном, современном инструменте для картирования функции актуализации слов во время нейрохирургических операций с пробуждением у русскоязычных пациентов с опухолью головного мозга¹.

¹ Тест на название объектов и действий, представленный в данной работе, был специально разработан и апробирован на пациентах с опухолями головного мозга (глиомами), однако мы надеемся, что в будущем данный тест сможет найти применение в работе с другими клиническими популяциями.

Несмотря на то, что тест на название объектов является наиболее распространенным тестом на название, нейролингвистические исследования показывают, что название объектов и название действий (соответственно, порождение существительных и глаголов) имеют лишь частично перекрывающийся нейрональный субстрат (см. обзор в Vigliocco et al., 2011). Так, в ряде исследований продемонстрировано, что височная доля левого полушария задействована в большей степени в порождении существительных, а лобная доля — в порождении глаголов (Capitani et al., 2003; Damasio, Tranel, 1993; Pillon, d'Honinchtun, 2010; Shapiro, Caramazza, 2003; Tyler et al., 2004; Zingeser, Berndt, 1990). Точная природа наблюдаемой диссоциации до сих пор неизвестна (см. Shapiro, Caramazza, 2003; Vigliocco et al., 2011), однако распространена гипотеза (Berlingeri et al., 2008; Crepaldi et al., 2011; Faroqi-Shah, 2012), согласно которой глаголы отличаются от существительных с точки зрения семантических, синтаксических и даже фонологических характеристик, что обуславливает разную обработку этих частей речи мозгом. В частности, предполагается, что название действий активирует не только сам глагол, но и его предикатно-аргументную структуру (то есть всю актантную структуру глагола с полным набором ролей и референтов, непосредственно относящихся к данному глаголу), что подразумевает большую степень грамматической кодировки по сравнению с названием объектов (Bastiaanse, Van Zonneveld, 2004; Rofes, Spena, Miozzo, Fontanella, Miceli, 2015; Власова, 2013). Например, глагол «резать» может активировать роль агенса и референта, который выполняет данное действие («повар»), и роль темы и объекта, над которым осуществляется данное действие («хлеб»). В связи с этим некоторые интраоперационные лингвистические батареи (Bello et al., 2006, 2007; Lubrano et al., 2014; de Witte et al., 2015) дополнительно включают задание на название действий с целью выявить специфические грамматические функции глаголов и их локализацию в мозге.

Принимая вышеперечисленные соображения во внимание, мы создали два вида теста на название — название объектов и название действий, каждый из которых направлен на специфический аспект речевой обработки. Тест на название объектов (порождение существительных) имеет целью картировать преимущественно лексические процессы, а тест на название действий (порождение глаголов) используется для дополнительного картирования грамматических аспектов речи. Необходимо отметить, что оба теста были сбалансированы между собой с точки зрения нормативных параметров рисунков и их номинаций (соответствие слова рисунку, субъективная визуальная сложность рисунка, знакомство с объектом/действием, возраст усвоения, представимость слова, предсказуемость номинации, частотность слова и его длина в слогах). Подробное объяснение того, как высчитывался каждый параметр, доступно на странице базы данных русских глаголов и существительных: <http://en.stimdb.ru/> (Akinina et al., 2014; Akinina et al., 2015).

При создании тестов на название объектов и действий мы учитывали методические ограничения, обусловленные непосредственно процедурой электростимуляции,

Таблица 1. Демографические данные и тип опухоли пациентов

| Номер пациента | Возраст | Пол | Локализация опухоли | Тип опухоли | Степень (ВОЗ) | Речевой статус до операции |
|----------------|---------|-----|---------------------|---------------------------------|---------------|---|
| 1 | 29 | м | лобная | олигоastroцитомы | II | в норме |
| 2 | 55 | м | лобная | анapласическая олигоastroцитомы | III | в норме |
| 3 | 49 | м | височно-теменная | олигоastroцитомы | II–III | в норме |
| 4 | 48 | м | височно-островковая | олигоastroцитомы | II | в норме |
| 5 | 30 | ж | височная | диффузная олигоastroцитомы | II | в норме |
| 6 | 25 | м | лобная | анapласическая astroцитомы | III | в норме |
| 7 | 33 | м | лобная | олигоastroцитомы | II | в норме |
| 8 | 42 | ж | височная | диффузная олигоastroцитомы | II | в норме |
| 9 | 29 | м | височная | анapласическая astroцитомы | III | в норме |
| 10 | 33 | м | лобная | astroцитомы | II–III | в норме |
| 11 | 32 | ж | височная | диффузная astroцитомы | II | в норме |
| 12 | 34 | м | лобная | диффузная astroцитомы | II–III | в норме |
| 13 | 35 | м | лобная | анapласическая олигоastroцитомы | III | в норме |
| 14 | 35 | ж | височно-островковая | диффузная astroцитомы | II | в норме |
| 15 | 34 | ж | лобно-островковая | диффузная astroцитомы | II–III | в норме |
| 16 | 45 | ж | лобная | олигодендроглиомы | II | акустико-мнестическая афазия с элементами эфферентно-моторной |
| 17 | 46 | м | височная | олигоastroцитомы | II | легкая акустико-мнестическая афазия |
| 18 | 39 | ж | лобно-теменная | диффузная astroцитомы | II | эфферентно-моторная афазия с элементами акустико-мнестической |
| 19 | 48 | ж | лобная | олигоastroцитомы | II | моторная и акустико-мнестическая афазия |
| 20 | 36 | м | лобно-островковая | олигоastroцитомы | II | моторная афазия с элементами акустико-мнестической |
| 21 | 28 | ж | лобная | олигоastroцитомы | II–III | в норме |
| 22 | 51 | ж | лобная | диффузная олигодендроглиомы | II | в норме |
| 23 | 50 | ж | лобная | олигоastroцитомы | II–III | в норме |

а также обстановкой, в которой проводится тестирование. Помимо того, что разработка тестов для интраоперационного картирования речи должна основываться на современной психолингвистической теории, тесты должны быть достаточно чувствительными для выявления функционально значимых мозговых зон и одновременно позволяющими осуществить максимальную резекцию опухоли (Rofes, 2012). Более того, в целях предотвращения неверного толкования результатов теста продолжительность каждой тестовой пробы (включая время презентации стимула и ответ пациента) во время интраоперационного картирования не должна превышать 3–4 секунды — именно столько длится эффект электростимуляции. Наконец, тесты должны быть эргономичными и легкими в использовании в обстановке операционной комнаты (например, позволять осуществлять наблюдение и регистрацию ответов в режиме реального времени, не требовать наличия громоздкого оборудования и т. п.).

Метод

Испытуемые

В период с октября 2014 г. по август 2016 г. тест был клинически апробирован на группе из 23 пациентов (средний возраст 38,5, $SD = 8,7$, диапазон возраста: от 25 до 55; 11 женщин), которым была проведена краниотомия

в сознании с интраоперационным картированием речи. Все пациенты были правшами и монолингвами, для которых русский язык был родным. У всех пациентов были диагностированы опухоли головного мозга (глиомы, злокачественность по шкале Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ): II–III), расположенные в левом полушарии в непосредственной близости от предполагаемых функционально значимых зон (как правило, в перисильвиевой области). У двенадцати пациентов глиомы находились в нижней лобной извилине, у двух пациентов — в лобно-височных отделах, у одного пациента — в лобно-теменном отделе, у пяти — в височной доле, у двух — в височно-островковой области и у одного — в височно-теменной области. Демографические и клинические характеристики всех пациентов представлены в таблице 1. Все пациенты были протестированы и прооперированы в Национальном научно-практическом центре нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко, г. Москва. Протокол интраоперационного тестирования был одобрен этическим комитетом центра. До операции все пациенты прошли первичный отбор на основании результатов осмотра нейрохирурга, анестезиолога и нейропсихолога. Если у пациентов не было обнаружено медицинских или психологических противопоказаний для проведения краниотомии в сознании, с пациентами проводилось подробное собеседование, во время которого им

тщательно объяснялся каждый этап процедуры. После того как от пациентов было получено согласие на проведение краниотомии в сознании, они проходили тщательное нейропсихологическое обследование по методу А. Р. Лурия (Лурия, 1962) на предмет сохранности основных когнитивных функций. До операции у восемнадцати пациентов речь была в норме, у трех пациентов была обнаружена моторная и акустико-мнестическая афазия, у одного пациента была выявлена акустико-мнестическая афазия с элементами эфферентно-моторной афазии и у одного пациента была диагностирована акустико-мнестическая афазия (у всех — в легкой степени).

Материал

Стимульный материал для интраоперационных тестов на название объектов и действий отбирался из нормативной базы русских существительных (Akinina et al., 2014) и глаголов (Akinina et al., 2015). Эти базы данных представляют набор рисунков различных предметов или действий, а также их возможных номинаций. Рисунки и номинации были нормированы по ряду психолингвистических параметров, каждый из которых был оценен 100 неврологически здоровыми носителями русского языка. С целью максимально ограничить возможное количество правильных ответов при назывании рисунков во время операции, только те рисунки, для которых было получено не больше четырех различающихся номинаций, были включены в интраоперационные тесты на название. Также, чтобы ограничить семантическую вариабельность между двумя частями речи, мы использовали только слова с конкретным значением, которые подразумевают возможность совершать какое-либо действие: глаголы физического действия и объекты, которыми можно манипулировать. Каждый тест включал 50 стимульных проб (рисунков и соответствующих номинаций; см. рисунок 1 для примера). Пробы были сбалансированы таким образом, чтобы оба теста (название объектов и название действий) были максимально сопоставимы по параметрам рисунков и номинаций. Так, при уровне значимости $p < .05$, двухвыборочный t -тест Уэлча не обнаружил статистической разницы между пробами в тесте на название объектов и в тесте на название действий ни для параметров рисунков (соответствие слова рисунку: $t(90.4) = 0.01, p = .99$; субъективная сложность: $t(86.4) = 1.3, p = .17$; знакомство с концептом: $t(91.2) = 1.4, p = .16$), ни для параметров номинаций (возраст усвоения: $t(96.6) = 1.6, p = .1$; предсказуемость номинации: $t(67.1) = -1.8, p = .08$; предсказуемость номинации: $t(69.5) = 1.7, p = .1$; частота слова: $t(56.7) = -1.3, p = .2$; и длина в слогах: $t(91.8) = -1.6, p = .1$). Все тестовые материалы (списки проб с соответствующими параметрами; интраоперационные протоколы; запрограммированные, готовые для презентации, тесты) размещены в [свободном доступе онлайн](#). Авторы выражают надежду, что данные тесты будут в дальнейшем использоваться в более широкой клинической практике.

Процедура

Тестирование осуществлялось в два этапа: до операции и во время операции с пробуждением. Выбор теста (название объектов или действий) для интраопера-

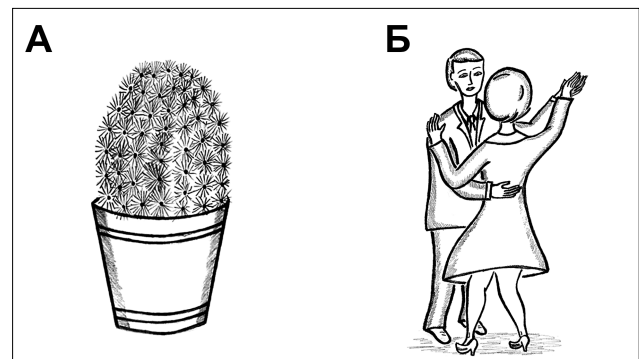


Рисунок 1. Примеры рисунков, использованных в тестах на название объектов (А) и действий (Б)

ционного картирования речи зависел от локализации опухоли. Учитывая существующие экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что пациенты с поражениями в лобной доле систематически испытывают больше трудностей с порождением глаголов, нежели существительных, а пациенты с поражениями в височной доле испытывают больше трудностей с существительными, нежели с глаголами (Chen, Bates, 1998; Damasio, Tranel, 1993; Shapiro, Caramazza, 2003), тест на название действий предъявлялся пациентам с опухолью в лобных отделах, в то время как тест на название объектов предъявлялся пациентам с опухолью, расположенной преимущественно в височных отделах.

Дооперационное тестирование пациентов проводилось за 1–3 дня до операции для того, чтобы пациент мог ознакомиться с процедурой выполнения теста, а также чтобы выявить трудные для называния рисунки для каждого отдельного пациента. Пациенту предъявлялся набор из 50 черно-белых рисунков объектов или действий на десятидюймовом планшете, который располагался на комфортном расстоянии для каждого пациента. Рисунки предъявлялись автоматически один за другим в формате видео-файла (созданного в iMovie 10.1.3) с интервалом 3 секунды. Предъявлению каждого рисунка всегда предшествовал звуковой сигнал (частота 400 Гц, длительность 0.5 секунды). В любой момент предъявления теста можно было остановиться (например, когда пациент отвлекся или истощался) или вернуться к более ранним пробам. Пациенты должны были отвечать на вопрос: «Что изображено на рисунке?» (для называния объектов) или «Что делает герой или героиня на рисунке?» (для называния действий), используя фразу: «Это ...» (для объектов) и «Тут...» (для действий). Подобная процедура приводила к порождению существительных в именительном падеже (например, «Это кактус») и глаголов в третьем лице настоящего времени (например, «Тут танцуют»). До операции тест на название повторялся два раза для того, чтобы отобрать только однозначные пробы (то есть названные правильно оба раза) и только те рисунки, номинация которых соответствует возможным номинациям в базе русских существительных (Akinina et al., 2014) и глаголов (Akinina et al., 2015) для интраоперационного индивидуализированного протокола каждого пациента. Данная процедура проводилась для того, чтобы уменьшить количество возможных ложноположительных результатов во время интраоперационного картирования речи.

Процедура краниотомии в сознании осуществлялась согласно общим рекомендациям по проведению операций (Всемирная организация здравоохранения, 2009) и учитывала специально разработанные методические рекомендации для проведения нейрохирургических операций в сознании (Кауата, 2012). Операция проходила согласно протоколу сон-бодрствование-сон с применением электрической стимуляции кортикальных и субкортикальных структур мозга во время интраоперационного тестирования в состоянии бодрствования. Параметры электростимуляции определялись согласно классическому протоколу, описанному в статье Бергера и Оджеманна (Berger, Ojemann, 1992), и согласно методическим рекомендациям по проведению интраоперационной электростимуляции мозга (Szelenyi, 2010). В то время как нейролингвист и нейропсихолог проводили интраоперационное тестирование (один предъявлял тест и взаимодействовал с пациентом, другой регистрировал ответы пациента в протоколе), нейрохирург осуществлял электрическую стимуляцию мозга по звуковому сигналу, сопровождающему презентацию рисунков (каждые 3 секунды), используя биполярный электрод с расстоянием между контактами 5 мм. Постоянный ток подавался в виде прямоугольных импульсов с частотой 60 Гц и продолжительностью 1 мс (Berger, Ojemann, 1992). Интенсивность силы тока определялась нейрофизиологом для каждого пациента индивидуально на основании наличия признаков эпилептогенной активности в сигнале электроэнцефалограммы и варьировала от пациента к пациенту от 2 до 6 мА. Точки стимуляции выбирались произвольно, однако нейрохирург старался избегать последовательной стимуляции двух соседних участков мозга для предотвращения эпилептических приступов. Если во время стимуляции обнаруживалась какая-либо ошибка в назывании рисунка (например, остановка речи, парафазия, персеверация, аномия и т.д.), нейрохирург маркировал зону стерильным пронумерованным ярлычком. После этого

предъявление стимулов приостанавливалось на некоторое время и возобновлялось после того, как пациент выражал готовность продолжать тестирование. Насколько было возможно, каждая маркированная зона стимулировалась троекратно для верификации вовлеченности зоны в речевую деятельность при условии, что стимуляция не вызывала эпилептической активности в мозге. Зона мозга считалась речевой, если нарушение называния наблюдалось в большинстве проб со стимуляцией, однако в некоторых зонах результаты стимуляции варьировали и, таким образом, оказывались неоднозначными. В итоге только однозначно верифицированные участки сохранялись и помечались ярлычками, а хирург старался избегать удаления таких зон во время резекции опухоли. По мере осуществления резекции вглубь белого вещества нейролингвист и нейропсихолог побуждали пациента с помощью наводящих вопросов непрерывно говорить на свободные автобиографические темы (например, работа, семья, отпуск и т.д.), при этом следя за отклонениями в спонтанной речи пациента. Если таковые обнаруживались, резекция останавливалась и производилась электрическая стимуляция проводящих путей, сопровождаемая тестом на называние. После того как функциональные границы опухоли были таким образом определены как на корковом, так и на подкорковом уровне, резекция прекращалась, и пациента снова погружали в наркоз или использовали седацию. Количество повторений теста варьировало от пациента к пациенту от 1 до 4, или от 50 до 200 проб (со стимуляцией и без) в зависимости от размера видимой ткани мозга, состояния пациента, легкости доступа и т.д. Таким образом, продолжительность процедуры интраоперационного картирования варьировала от 40 минут до 4 часов. По окончании резекции цифровое изображение хирургической полости со всеми маркированными речевыми зонами (если таковые были обнаружены) сохранялось для последующего анализа речевых ошибок и их локализации (см. рисунок 2 для примера).

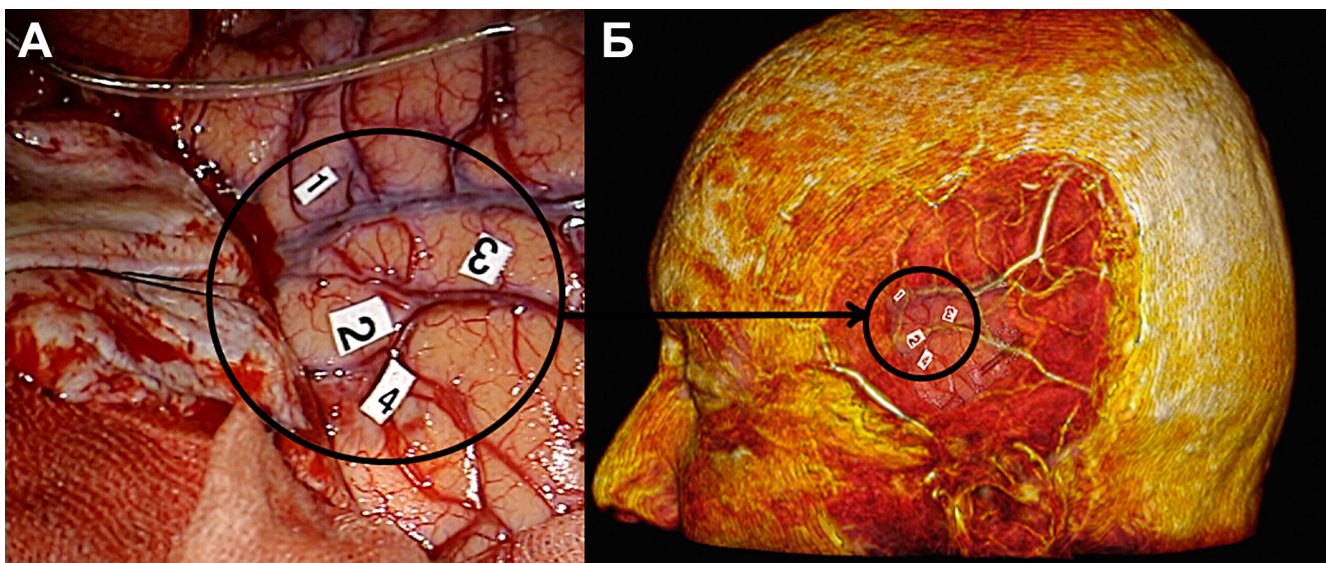


Рисунок 2. Пример результата интраоперационного картирования речевых зон во время операции с пробуждением: А — фотография хирургической полости с маркированными речевыми зонами, Б — результат ультразвуковой навигации картированных зон. Ярлык №1: в данной зоне были выявлены персеверации (нижняя лобная извилина); ярлык №2: аномия (верхняя височная извилина); ярлык №3: персеверация и аномия (верхняя височная извилина); ярлык №4: аномия (верхняя височная извилина).

Результаты

Интраоперационное картирование

Интраоперационное картирование речи было успешно осуществлено у 20 из 23 пациентов. У трех пациентов не удалось провести процедуру картирования из-за эпилептических приступов во время операции и/или угнетенного сознания после пробуждения, поэтому эти пациенты были исключены из последующего анализа данных. Общее количество электрических стимуляций для оставшихся 20 пациентов составило 1758 (среднее количество стимуляций 92, $SD=36$, количество стимуляций варьировалось в пределах от 33 до 150). У двух пациентов из двадцати не было выявлено четких речевых зон в результате проведения процедуры картирования. Таким образом, общее количество положительно картированных речевых зон у оставшихся 18 пациентов составило 61 (среднее количество зон на пациента 3.4, $SD=2$, количество речевых зон варьировало в пределах от 1 до 7). Параметры электрической стимуляции и результаты интраоперационного картирования представлены в таблице 2.

Анатомическая локализация выявленных речевых зон определялась нейрохирургом во время проведения процедуры интраоперационного картирования и регистрировалась в протоколе нейролингвистом или нейропсихологом. При последующем анализе данных локализация зон была верифицирована путем сопоставления данных интраоперационных протоколов с фотографиями хирургической полости с маркированными зонами. Принимая во внимание тот факт, что количество положительных стимуляций, приходящихся на каждую локализованную зону, зачастую является недостаточным для осуществления стандартного непараметрического анализа, а также то, что количество пациентов с опухолями в лобных и височных отделах было несбалансированным, в данной работе мы представляем только дескриптивную статистику количества зафиксированных ошибок в каждой из функционально значимых областей мозга (таблица 3) и сравниваем распределение различных видов ошибок, выявленных с помощью двух тестов на название (таблица 4). На кортикальном уровне речевые нарушения были зафиксированы в нижней лобной извилине (триангулярной и оперкулярной частях), центральной части прецентральной извилины, верхней височной извилине и средней височной извилине. На субкортикальном уровне различные речевые ошибки были выявлены при стимуляции дугообразного пучка и верхнего продольного пучка. Семь выявленных речевых зон не были анатомически идентифицированы с достаточной степенью точности.

Речевые ошибки в результате электрической стимуляции были разделены на семь категорий (см. таблицу 4 для определения каждого типа ошибки): аномия, семантическая парафазия, неясная речь, персеверация, циркумлокуция, задержка ответа и фонологическая парафазия. Аномия является наиболее часто встречающимся типом ошибки, наблюдаемом при стимуляции как кортикальных, так и субкортикальных структур как в тесте на название объектов, так и в тесте на название действий (39.39% и 27.91% соответ-

Таблица 2. Параметры и результаты интраоперационного картирования речи

| Номер пациента | Тест на название | Сила тока (мА) | Количество стимуляций | Количество речевых зон |
|----------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------------|
| 1 | действия | не зафиксирована | 60 | не обнаружено |
| 2 | действия | 4-5 | 75 | 1 |
| 3 | объекты | 3.7-5 | 33 | 3 |
| 4 | объекты | 5-6 | 36 | 1 |
| 5 | объекты | 2-5 | 104 | 2 |
| 6 | действия | 2-3 | 86 | 4 |
| 7 | действия | 2-3 | 34 | 2 |
| 8 | объекты | не зафиксирована | 150 | 5 |
| 9 | объекты | 2-4 | 76 | 6 |
| 10 | действия | 3 | 124 | 3 |
| 11 | объекты | 3 | 134 | 1 |
| 12 | действия | 3-4 | 124 | 3 |
| 13 | действия | 4-5 | 134 | 2 |
| 14 | объекты | 2-2.4 | 61 | 6 |
| 15 | действия | 3-5 | 95 | 6 |
| 16 | действия | 2.5-4.5 | 103 | не обнаружено |
| 17 | объекты | 5 | не зафиксировано | 2 |
| 18 | действия | не зафиксирована | 104 | 7 |
| 19 | действия | 2-3.5 | 128 | 1 |
| 20 | действия | не зафиксирована | 97 | 6 |

ственно). Следующим по частоте встречаемости видом ошибок является семантическая парафазия (18.18% и 13.95% соответственно). Аномии и семантические парафазии наблюдались чаще при использовании теста на название объектов по сравнению с тестом на название действий, в то время как неясная речь и персеверации чаще встречались при назывании действий, однако сравнение количества ошибок с помощью критерия хи-квадрат не выявило статистически значимых различий между двумя тестами (аномия: $\chi^2=1.1$, $p=.3$; семантическая парафазия: $\chi^2=0.2$, $p=.6$; неясная речь: $\chi^2=1.8$, $p=.2$; персеверация: $\chi^2=0.7$, $p=.4$). Остальные виды ошибок встречались примерно с одинаковой частотой в обоих тестах.

Клинические результаты

Через 1–3 дня после операции все пациенты прошли полное нейропсихологическое обследование, проведенное тем же нейропсихологом, который проводил дооперационное обследование. Для сравнения в таблице 5 представлены результаты нейропсихологического обследования до и после операции для каждого пациента. На основании результатов обследования пациенты были условно разделены на несколько групп в зависимости от того, насколько изменилась их речевая функция после операции: 1) без изменений, 2) небольшое

Таблица 3. Локализация выявленных речевых зон с соответствующими ошибками

| | Локализация | Количество речевых ошибок | Тип ошибки |
|---------------------------|--|---------------------------|--|
| лобная доля | нижняя лобная извилина (часть точно не определена) | 14 | аномия, семантическая парафазия, неясная речь |
| | триангулярная часть нижней лобной извилины | 2 | аномия, циркумлокуция |
| | оперкулярная часть нижней лобной извилины | 12 | аномия, персеверация, задержка ответа |
| | вентральная часть прецентральной извилины | 5 | семантическая парафазия, ощущения в языке |
| височная доля | передняя и средняя части верхней височной извилины | 3 | семантическая парафазия |
| | задняя часть верхней височной извилины | 3 | аномия, фонологическая парафазия |
| | средняя височная извилина | 2 | аномия, циркумлокуция |
| субкортикальные структуры | верхний продольный пучок | 3 | аномия, персеверация |
| | дугообразный пучок | 10 | аномия, циркумлокуция, семантическая парафазия, персеверация, неясная речь |
| не установлена | не установлена | 7 | аномия, семантическая парафазия, персеверация, задержка ответа |

Таблица 4. Процент зафиксированных речевых ошибок различного типа в двух тестах на название

| Тип ошибки | Определение | % | | Пример |
|--------------------------|--|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | | название объектов (n = 33) | название действий (n = 43) | |
| аномия | трудность доступа и извлечения целевой номинации при сохранной способности к артикуляции | 39.39 | 27.91 | |
| семантическая парафазия | замена целевой номинации семантически близкой | 18.18 | 13.95 | бегемот → носорог |
| неясная речь | невнятная речь, заикание, нечеткая артикуляция | 3.03 | 11.63 | |
| персеверация | навязчивое повторение одного и того же слова вместо целевой номинации | 6.06 | 11.63 | |
| циркумлокуция | описание значения целевого слова вместо его непосредственной номинации | 3.03 | 4.65 | сосиска → мы можем это есть |
| задержка ответа | задержка в номинации целевого слова | 12.12 | 9.30 | |
| фонологическая парафазия | фонематическая эпентеза, выпадение, замещение, перестановка и повторение звуков | 6.06 | 2.33 | домино → бимоно |
| не классифицирован | неоднородная группа ошибок, включающая жалобы пациентов на странные ощущения, использование обценной лексики, трудно классифицируемые ошибки | 12.12 | 18.60 | |

Примечание: Процент ошибок высчитывался на основании общего количества ошибок, допущенных в каждом из тестов на название; разные типы ошибок могли быть выявлены при стимуляции одной и той же речевой зоны.

ухудшение, 3) значительное ухудшение и 4) улучшение. У 35% из 75% пациентов, у которых речь находилась в норме до операции, речь осталась сохранной после операции; у 25% пациентов были обнаружены элементы или легкая степень афазии; у 15% пациентов после операции развилась более грубая афазия. У 20% из пациентов, у которых были выявлены речевые расстройства до операции, речевой дефицит усугубился после операции, однако у одного пациента в этой группе наблюдалось улучшение речевой функции после операции.

Обсуждение

Результаты показали, что разработанные нами тесты на название объектов и действий являются полезными инструментами для интраоперационного картирования речи. Интраоперационные данные демонстрируют, что благодаря использованию этих тестов удалось выявить мозговые зоны, вовлеченные в языковую обработку, у 18 из 20 пациентов, которым производилось картирование речи. Существует несколько возможных объяснений, почему у оставшихся двух пациентов

Таблица 5. Клинические результаты: сравнение речевой функции до и после операции

| Номер пациента | Речевой статус до операции | Речевой статус после операции | Клинический результат |
|----------------|---|--|------------------------|
| 1 | в норме | в норме | без изменений |
| 2 | в норме | в норме | без изменений |
| 3 | в норме | в норме | без изменений |
| 4 | в норме | в норме | без изменений |
| 5 | в норме | в норме | без изменений |
| 6 | в норме | в норме | без изменений |
| 7 | в норме | в норме | без изменений |
| 8 | в норме | элементы акустико-мнестической афазии | небольшое ухудшение |
| 9 | в норме | элементы акустико-мнестической афазии | небольшое ухудшение |
| 10 | в норме | элементы эфферентной и афферентной афазии | небольшое ухудшение |
| 11 | в норме | элементы акустико-мнестической и семантической афазии | небольшое ухудшение |
| 12 | в норме | элементы динамической афазии | небольшое ухудшение |
| 13 | в норме | эфферентно-моторная афазия с элементами акустико-мнестической | значительное ухудшение |
| 14 | в норме | акустико-мнестическая афазия с элементами моторной | значительное ухудшение |
| 15 | в норме | эфферентно-моторная и акустико-мнестическая афазия | значительное ухудшение |
| 16 | акустико-мнестическая афазия с элементами эфферентно-моторной | эфферентно-моторная и акустико-мнестическая афазия + дизартрия | небольшое ухудшение |
| 17 | легкая акустико-мнестическая афазия | акустико-мнестическая афазия | значительное ухудшение |
| 18 | эфферентно-моторная афазия с элементами акустико-мнестической | эфферентно-моторная афазия | значительное ухудшение |
| 19 | моторная и акустико-мнестическая афазия | эфферентно-моторная и акустико-мнестическая афазия + дизартрия | значительное ухудшение |
| 20 | моторная афазия с элементами акустико-мнестической | акустико-мнестическая афазия с элементами моторной | улучшение |

не удалось обнаружить речевые зоны во время интраоперационного картирования. Сохранность речи у одного из этих пациентов (Пациент №1) после операции может указывать на индивидуальную пластичность и реорганизацию речевых зон в удаленные от опухоли участки мозга (см. Duffau, 2005; 2014 для более подробного освещения темы нейрональной пластичности у пациентов с опухолью головного мозга). У второго пациента (Пациент №16) уже имелся дооперационный речевой дефицит, который усугубился в остром периоде после операции. Для того, чтобы установить точную причину, почему речевые зоны не были обнаружены в ходе интраоперационного картирования, необходимы результаты нейропсихологического и лингвистического обследования в катамнезе.

В восемнадцати случаях успешного картирования речевые ошибки наиболее часто были локализованы кортикально в нижней лобной извилине (оперкулярной и/или треугольной частях) и верхней височной извилине. При субкортикальной стимуляции большинство речевых ошибок обнаруживалось в области дугообразного пучка. На первый взгляд, такое распределение речевых зон в точности соответствует традиционным представлениям о репрезентации речи в нижней лобной и верхней височной извилинах и о дугообразном пучке как о связующем звене между ними (Geswind, 1979). Однако на индивидуальном

уровне наблюдается гораздо большая вариабельность речевых зон. Например, у некоторых пациентов речевые ошибки совпадали со стимуляцией вентральной части прецентральной извилины и средней височной извилины. Более того, не у всех пациентов были обнаружены речевые зоны в нижней лобной и верхней височной извилинах. Данный факт можно объяснить нейрональной пластичностью, вызванной ростом опухоли, что еще раз подчеркивает необходимость картирования речи до резекции опухоли в каждом индивидуальном случае.

Качественный анализ выявленных ошибок как во время проведения теста на название объектов, так и во время теста на название действий показал, что чаще всего электростимуляция мозга нарушает лексический доступ к слову, а не саму его моторную реализацию. Так, несмотря на то, что пациенты начинают фразу со слов «Это...» / «Тут...», они не могут извлечь целевую номинацию из ментального лексикона (аномия) или заменяют ее отличной, нерелевантной, номинацией (семантическая парафазия). Таким образом, разработанные тесты на название являются более подходящими для выявления специфических речевых процессов, связанных с извлечением слова из ментального лексикона, а не для выявления моторных аспектов порождения речи (что характеризуется полной остановкой речи во время выполнения задания).

Относительно клинических результатов данной работы необходимо отметить, что интраоперационное картирование речи с помощью тестов на название объектов и действий позволило сохранить речь в норме у семи из пятнадцати пациентов, у которых не наблюдалось речевого дефицита до операции. У других пяти из этих пятнадцати пациентов были отмечены лишь легкие признаки афазии после операции, однако у трех пациентов возникли явные афатические расстройства после операции. В целом вероятность развития языкового дефицита после операции была гораздо меньше, если изначально речь пациентов находилась в пределах нормы. Тем не менее у некоторых пациентов было отмечено ухудшение речевой функции после операции. Подобные временные речевые расстройства в остром послеоперационном периоде описываются в литературе. Они часто возникают в результате локального послеоперационного отека тканей головного мозга и обычно проходят через несколько недель после операции (Duffau et al., 2002, 2003). Что касается тех пациентов, у которых изначально были выявлены речевые расстройства или афазия, наши результаты показывают, что вероятность полного исчезновения дисфункции речи после операции мала — по крайней мере, в остром послеоперационном периоде. Отсутствие результатов нейропсихологического и лингвистического обследования в катмнезе составляет основной недостаток данной работы. Более того, немногочисленная и неоднородная выборка пациентов (с разными видами глиом, степенью злокачественности, локализацией опухоли и т. д.) не позволяет сделать окончательные выводы на данном этапе. Для того чтобы адекватно оценить клинические результаты пациентов до и после операции, а также сравнить мозговой субстрат, вовлеченный в обработку существительных и глаголов, необходимы более сбалансированные и однородные группы пациентов.

Несмотря на имеющиеся ограничения, результаты данного исследования показывают, что в сочетании с электростимуляцией мозга разработанные нами тесты являются чувствительным инструментом для картирования речи как на кортикальном, так и на субкортикальном уровнях. Более того, наши результаты выявили релевантность интраоперационного использования не только теста на название объектов, но и теста на название действий. Интраоперационное применение разработанных тестов позволило выявить функционально важные речевые зоны у восемнадцати из двадцати пациентов. Индивидуальная топография выявленных зон отражает нейропластичность, вызванную пролиферацией опухоли, и подчеркивает необходимость интраоперационного картирования речи.

Таким образом, представленные в данной работе тесты на название объектов и действий, сбалансированные по ряду (психо)лингвистических параметров, представляют собой первый опыт стандартизированного интраоперационного картирования речи у русскоговорящих пациентов. Тестовые материалы, до- и интраоперационные протоколы и инструкции находятся в свободном доступе для дальнейшего использования в клинической практике.

Литература

Акинина Ю. С., Искра Е. В., Иванова М. В., Грабовская М. А., Исаев Д. Ю., Коркина И., Малютина С. А., Сергеева Н. Библиотека стимулов «Существительное и объект»: нормирование психолингвистических параметров // Шестая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов / Под ред. Б. Величковского, В. Рубцова, Д. Ушакова. Калининград: 2014. С. 112–114.

Власова Р. М. Мозговые механизмы номинативной функции речи: нейропсихологический и нейровизуализационный подход: дисс. ... канд. психол. наук. МГУ, Москва, 2013.

Лурия А. П. Высшие корковые функции и их нарушение при локальных поражениях мозга. М.: МГУ, 1962.

Akinina Y., Malyutina S., Ivanova M., Iskra E., Mannova E., Dragoy O. Russian normative data for 375 action pictures and verbs // Behavior Research Methods. 2015. Vol. 47. No. 3. P. 691–707. doi:10.3758/s13428-014-0492-9

Bastiaanse R., Van Zonneveld R. Broca's aphasia, verbs and the mental lexicon // Brain and Language. 2004. Vol. 90. No. 1. P. 198–202. doi:10.1016/s0093-934x(03)00432-2

Bello L., Acerbi F., Giussani C., Baratta P., Taccone P., Songa V. Intraoperative language localization in multilingual patients with gliomas // Neurosurgery. 2006. Vol. 59. No. 1. P. 115–125. doi:10.1227/01.neu.0000219241.92246.fb

Bello L., Gallucci M., Fava M., Carrabba G., Giussani C., Acerbi F., Baratta P., Songa V., Conte V., Branca V., Stocchetti N., Papagno C., Gaini S. M. Intraoperative subcortical language tract mapping guides surgical removal of gliomas involving speech areas // Neurosurgery. 2007. Vol. 60. No. 1. P. 67–82. doi:10.1227/01.neu.0000249206.58601.de

Berger M. S., Ojemann G. A. Intraoperative brain mapping techniques in neuro-oncology // Stereotactic and Functional Neurosurgery. 1992. Vol. 58. No. 1–4. P. 153–161. doi:10.1159/000098989

Berlinger M., Crepaldi D., Roberti R., Scialfa G., Luzzatti C., Paulesu E. Nouns and verbs in the brain: Grammatical class and task specific effects as revealed by fMRI // Cognitive Neuropsychology. 2008. Vol. 25. No. 4. P. 528–558. doi:10.1080/02643290701674943

Bertani G., Fava E., Casaceli G., Carrabba G., Casarotti A., Papagno C., Castellano A., Falini A., Gaini S. M., Bello L. Intraoperative mapping and monitoring of brain functions for the resection of low-grade gliomas: Technical considerations // Neurosurgical Focus. 2009. Vol. 27. No. 4. P. E4. doi:10.3171/2009.8.focus09137

Bizzi A. Presurgical mapping of verbal language in brain tumors with functional MR imaging and MR tractography // Neuroimaging Clinics of North America. 2009. Vol. 19. No. 4. P. 573–596. doi:10.1016/j.nic.2009.08.010

Brennan N. M. P., Whalen S., de Morales Branco D., O'Shea J. P., Norton I. H., Golby A. J. Object naming is a more sensitive measure of speech localization than number counting: converging evidence from direct cortical stimulation and fMRI // Neuroimage. 2007. Vol. 37. Supplement 1. P. S100–S108. doi:10.1016/j.neuroimage.2007.04.052

Capitani E., Laiacona M., Mahon B., Caramazza A. What are the facts of semantic category-specific deficits? A critical review of the clinical evidence // Cognitive Neuropsychology. 2003. Vol. 20. No. 3–6. P. 213–261. doi:10.1080/02643290244000266

Chang E. F., Raygor K. P., Berger M. S. Contemporary model of language organization: an overview for neurosurgeons // Journal of Neurosurgery. 2015. Vol. 122. No. 2. P. 250–261. doi:10.3171/2014.10.jns132647

Chen S., Bates E. The dissociation between nouns and verbs in Broca's and Wernicke's aphasia: Findings from Chinese // Aphasiology. 1998. Vol. 12. No. 1. P. 5–36. doi:10.1080/02687039808249441

Code C., Hemsley G., Herrmann M. The emotional impact of aphasia // Seminars in speech and language. 1999. P. 19–31. doi:10.1055/s-2008-1064006

Coello A. F., Moritz-Gasser S., Martino J., Martinoni M., Matsuda R., Duffau H. Selection of intraoperative tasks for awake mapping based on relationships between tumor location and

- functional networks: A review // *Journal of Neurosurgery*. 2013. Vol. 119. No. 6. P. 1380–1394. doi:10.3171/2013.6.jns122470
- Crepaldi D., Berlingeri M., Paulesu E., Luzzatti C.* A place for nouns and a place for verbs? A critical review of neurocognitive data on grammatical-class effects // *Brain and Language*. 2011. Vol. 116. No. 1. P. 33–49. doi:10.1016/j.bandl.2010.09.005
- Damasio A.R., Tranel D.* Nouns and verbs are retrieved with differently distributed neural systems // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1993. Vol. 90. No. 11. P. 4957–4960. doi:10.1073/pnas.90.11.4957
- De Witte E., Satoer D., Robert E., Colle H., Verheyen S., Visch-Brink E., Mariën P.* The Dutch Linguistic Intraoperative Protocol: A valid linguistic approach to awake brain surgery // *Brain and Language*. 2015. Vol. 140. P. 35–48. doi:10.1016/j.bandl.2014.10.011
- Duffau H.* Lessons from brain mapping in surgery for low-grade glioma: insights into associations between tumour and brain plasticity // *The Lancet Neurology*. 2005. Vol. 4. No. 8. P. 476–486. doi:10.1016/s1474-4422(05)70140-x
- Duffau H.* Contribution of cortical and subcortical electrostimulation in brain glioma surgery: Methodological and functional considerations // *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*. 2007. Vol. 37. No. 6. P. 373–382. doi:10.1016/j.neucli.2007.09.003
- Duffau H.* Diffuse low-grade gliomas and neuroplasticity // *Diagnostic and Interventional Imaging*. 2014. Vol. 95. No. 10. P. 945–955. doi:10.1016/j.diii.2014.08.001
- Duffau H., Capelle L., Denvil D., Gatignol P., Sichez N., Lopes M., Sichez J.-P., Van Effenterre R.* The role of dominant premotor cortex in language: A study using intraoperative functional mapping in awake patients // *Neuroimage*. 2003. Vol. 20. No. 4. P. 1903–1914.
- Duffau H., Capelle L., Sichez N., Denvil D., Lopes M., Sichez J.-P., Bitar A., Fohanno D.* Intraoperative mapping of the subcortical language pathways using direct stimulations // *Brain*. 2002. Vol. 125. No. 1. P. 199–214.
- Faroqi-Shah Y.* Grammatical category dissociations in multilingual aphasia // *Aspects of multilingual aphasia*. / M.R. Gitterman, M. Goral, L.K. Obler (Eds.). Clevedon, UK: Multilingual Matters, 2012. P. 158–170. doi:10.1080/02643294.2010.509340
- Garrett M.C., Pouratian N., Liau L.M.* Use of language mapping to aid in resection of gliomas in eloquent brain regions // *Neurosurgery Clinics of North America*. 2012. Vol. 23. No. 3. P. 497–506. doi:10.1016/j.nec.2012.05.003
- Geschwind N.* Specializations of the human brain // *Scientific American*. 1979. Vol. 241. P. 180–199. doi:10.1038/scientificamerican0979-180
- Kayama T.* The guidelines for awake craniotomy guidelines committee of the Japan awake surgery conference // *Neurologia Medico-Chirurgica*. 2012. Vol. 52. No. 3. P. 119–141. doi:10.2176/nmc.52.119
- Levelt W.J.M.* Speaking: From intention to articulation. Cambridge, MA: MIT Press, 1989. doi:10.5860/choice.27-1947
- Levelt W.J.M., Roelofs A., Meyer A.S.* A theory of lexical access in speech production // *Behavioral and Brain Sciences*. 1999. Vol. 22. No. 01. P. 1–38. doi:10.1017/s0140525x99001776
- Lubrano V., Filleron T., Démonet J.-F., Roux F.-E.* Anatomical correlates for category-specific naming of objects and actions: A brain stimulation mapping study // *Human Brain Mapping*. 2014. Vol. 35. No. 2. P. 429–443. doi:10.1002/hbm.22189
- Metz-Lutz M.N., Kremin H., Deloche G., Hannequin D., Ferrand L., Perrier D., Quint S., Dordain M., Bunel G., Cardebat D., Larroque C., Lota A.M., Pichard B Blavier A.* Standardisation d'un test de dénomination orale: contrôle des effets de l'âge, du sexe et du niveau de scolarité chez les sujets adultes normaux // *Revue de Neuropsychologie*. 1991. Vol. 1. No. 1. P. 73–95.
- Ojemann G.A.* Individual variability in cortical localization of language // *Journal of Neurosurgery*. 1979. Vol. 50. No. 2. P. 164–169. doi:10.3171/jns.1979.50.2.0164
- Ojemann G., Ojemann J., Lettich E., Berger M.* Cortical language localization in left, dominant hemisphere: An electrical stimulation mapping investigation in 117 patients // *Journal of Neurosurgery*. 1989. Vol. 71. No. 3. P. 316–326. doi:10.3171/jns.1989.71.3.0316
- Papagno C., Casarotti A., Comi A., Gallucci M., Riva M., Bello L.* Measuring clinical outcomes in neuro-oncology. A battery to evaluate low-grade gliomas (LGG) // *Journal of Neuro-Oncology*. 2012. Vol. 108. No. 2. P. 269–275. doi:10.1007/s11060-012-0824-5
- Peruzzi P., Bergese S.D., Vilorio A., Puente E.G., Abdel-Rasoul M., Chiocca E.A.* A retrospective cohort-matched comparison of conscious sedation versus general anesthesia for supratentorial glioma resection // *Journal of Neurosurgery*. 2011. Vol. 114. No. 3. P. 633–639. doi:10.3171/2010.5.jns1041
- Pillon A., d'Honincthun P.* The organization of the conceptual system: The case of the “object versus action” dimension // *Cognitive Neuropsychology*. 2010. Vol. 27. No. 7. P. 587–613. doi:10.1080/02643294.2011.609652
- Półczyńska M.* New tests for language mapping with intraoperative electrical stimulation of the brain to preserve language in individuals with tumors and epilepsy: A preliminary follow-up study // *Poznań Studies in Contemporary Linguistics*. 2009. Vol. 45. No. 2. P. 261–279. doi:10.2478/v10010-009-0015-5
- Rofes A.* The verb in sentence context test: Standardization and application in awake neurosurgery. A Master's Thesis. Rijksuniversiteit Groningen, 2012.
- Rofes A., de Aguiar V., Miceli G.* A minimal standardization setting for language mapping tests: An Italian example // *Neurological Sciences*. 2015. Vol. 36. No. 7. P. 1113–1119. doi:10.1007/s10072-015-2192-3
- Rofes A., Spina G., Miozzo A., Fontanella M.M., Miceli G.* Advantages and disadvantages of intraoperative language tasks in awake surgery: A three-task approach for prefrontal tumors // *Journal of Neurosurgical Sciences*. 2015. Vol. 59. No. 4. P. 337–349.
- Rostrup E., Law I., Blinkenberg M., Larsson H.B.W., Born A.P., Holm S., Paulson O.* Regional differences in the CBF and BOLD responses to hypercapnia: A combined PET and fMRI study // *Neuroimage*. 2000. Vol. 11. No. 2. P. 87–97. doi:10.1006/nimg.1999.0526
- Roux F.-E., Boulanouar K., Lotterie J.-A., Mejdoubi M., LeSage J.P., Berry I.* Language functional magnetic resonance imaging in preoperative assessment of language areas: Correlation with direct cortical stimulation // *Neurosurgery*. 2003. Vol. 52. No. 6. P. 1335–1347. doi:10.1227/01.neu.0000064803.05077.40
- Sacko O., Lauwers-Cances V., Brauge D., Sesay M., Brenner A., Roux F.-E.* Awake craniotomy vs surgery under general anesthesia for resection of supratentorial lesions // *Neurosurgery*. 2011. Vol. 68. No. 5. P. 1192–1199. doi:10.1227/01.neu.0b013e31820c02a3
- Shapiro K., Caramazza A.* Grammatical processing of nouns and verbs in left frontal cortex? // *Neuropsychologia*. 2003. Vol. 41. No. 9. P. 1189–1198. doi:10.1016/s0028-3932(03)00037-x
- Szelényi A., Bello L., Duffau H., Fava E., Feigl G.C., Galanda M., Neuloh G., Signorelli F., Sala F.* Intraoperative electrical stimulation in awake craniotomy: Methodological aspects of current practice // *Neurosurgical focus*. 2010. Vol. 28. No. 2. P. E7. doi:10.3171/2009.12.focus09237
- Tonn J.C.* Awake craniotomy for monitoring of language function: Benefits and limits // *Acta Neurochirurgica*. 2007. Vol. 149. No. 12. P. 1197–1198. doi:10.1007/s00701-007-1368-x
- Tyler L.K., Bright P., Fletcher P., Stamatakis E.A.* Neural processing of nouns and verbs: The role of inflectional morphology // *Neuropsychologia*. 2004. Vol. 42. No. 4. P. 512–523. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2003.10.001
- Van Lancker Sidtis D., Canterucci G., Katsnelson D.* Effects of neurological damage on production of formulaic language // *Clinical Linguistics and Phonetics*. 2009. Vol. 23. No. 4. P. 270–284. doi:10.1080/02699200802673242
- Vanlancker-Sidtis D., McIntosh A.R., Grafton S.* PET activation studies comparing two speech tasks widely used in surgical mapping // *Brain and Language*. 2003. Vol. 85. No. 2. P. 245–261. doi:10.1016/s0093-934x(02)00596-5
- Vickers C.P.* Social networks after the onset of aphasia: The impact of aphasia group attendance // *Aphasiology*. 2010. Vol. 24. No. 6–8. P. 902–913. doi:10.1080/02687030903438532

Vigliocco G., Vinson D.P., Druks J., Barber H., Cappa S.F. Nouns and verbs in the brain: A review of behavioural, electrophysiological, neuropsychological and imaging studies // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2011. Vol. 35. No.3. P. 407 – 426. [doi:10.1016/j.neubiorev.2010.04.007](https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2010.04.007)

Wise R. G., Ide K., Poulin M. J., Tracey I. Resting fluctuations in arterial carbon dioxide induce significant low frequency

variations in BOLD signal // *Neuroimage*. 2004. Vol. 21. No.4. P. 1652 – 1664. [doi:10.1016/j.neuroimage.2003.11.025](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.11.025)

World Health Organization. WHO guidelines for safe surgery 2009: safe surgery saves lives. WHO Press, 2009.

Zingeser L.B., Berndt R.S. Retrieval of nouns and verbs in agrammatism and anomia // *Brain and Language*. 1990. Vol. 39. No. 1. P. 14 – 32. [doi:10.1016/0093-934x\(90\)90002-x](https://doi.org/10.1016/0093-934x(90)90002-x)

On the Factors Affecting the Fastest Rate of Motor Sequence Production

Andrei V. Kurgansky

Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of Education, Moscow, Russia

Abstract. It is argued in the paper that the fastest possible rate of motor sequence production can be attributed to two factors: (i) the presence of those peripheral or central processes whose duration cannot be made less than a certain limit ('time-consuming' factor) and (ii) purposeful control of the execution rate through adjusting the durations of separate movements and the rate of their sequential execution in order to keep the probability of successful execution of the entire sequence within a given range ('compensatory' factor). The compensatory factor is usually not taken into account when analyzing the temporal structure of sequences executed at the fastest possible tempo. However, this factor must be considered. It is shown in the present work that the effect of a reduction in the execution rate of a motor sequence performed as quickly as possible with the increase of sequence length, usually attributed to cognitive processing, can be explained by the compensatory factor.

Correspondence: Andrei V. Kurgansky, akurg@yandex.ru, Institute of Developmental Physiology, 8/2 Pogodinskaya str., 119121 Moscow Russia

Keywords: motor sequences, movement duration, maximal voluntary rate, Fitts's law, motor control, motor learning

Copyright © 2016. Andrei V. Kurgansky. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) (CC BY), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the original author is credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice.

Acknowledgements. The author is grateful to anonymous reviewers for their valuable comments and suggestions.

Received 5 February 2016.

Introduction

The natural and social environment constantly forces our motor system to solve a conditional movement optimization problem: to maximize (or minimize) some parameters of a motor activity while preserving a set of other parameters. In particular, we often need to minimize movement duration while preserving overall performance accuracy — this is exactly what we do in the course of building skills in sports, handicrafts, music and other hobbies. The question arises as to what factors limit the duration of isolated movements and are resistant to increasing the tempo of motor sequence execution above a certain limit.

The present paper aims to show that the maximum movement rate attainable during a motor sequence production depends on two factors. First, the duration of the entire sequence of movements is limited from below by execution-related processes of central or peripheral origin, the duration of which cannot

be reduced below a certain limit. We will refer to these processes as the 'time-consuming' factor affecting the sequence production rate.

Shortening the duration of isolated movements and increasing the production rate of a sequence assembled from these movements may reduce the possibility of successfully completing the sequence. In that case, one may think of the 'compensatory factor' as a major determinant of the optimal sequence production rate: this simply means that sequence units are purposely slowed down in order to keep the probability of committing an error within an acceptable range.

This paper is organized as follows. Section 1 provides a short survey of known time-consuming and compensatory factors that limit a movement's duration from below and are related to the processes taking place in the motor periphery. In Section 2, we discuss the issue of whether existing models of motor control and trajectory formation could help in uncovering some central factors affecting lower limits of movement duration. Section 3 deals

with the reciprocal relationship between movement duration and the movement's spatial accuracy, a factor known as speed-accuracy tradeoff. This reciprocal relationship is considered to be an instance of a compensatory limit imposed on movement time. Section 4 briefly mentions the relationship that exists between the maximum voluntary tempo of sequence production and the time required for some processes in the central part of the motor system. In Section 5, with a sequence of identical discrete movements taken as an example, it is shown that the time-consuming factor is not the sole determinant of the fastest sequence rate. It is argued that the compensatory factor, i. e. a deliberate reduction in performance rate, should also be taken into account.

1. What Limits the Simple Movement Duration at the Periphery of the Motor System?

Intensive research conducted in the 1970s and 1980s led to the discovery of major physiological limitations imposed by limb biomechanics and muscle contraction dynamics on the minimal time required for simple one-dimensional movements, such as arm flexion-extension in the elbow joint (Freund & Büdingen, 1978; Gielen, Van den Oosten, & Pull ter Gunne, 1985; Wallace, 1981). These limitations are directly related to the irreducible duration of the muscular force generation. Indirectly, these limitations are caused by the noisiness of the force generation mechanism and the limited force magnitude it produces.

Let us take a brief look at how motion results from the force developed by a muscle pair. From the outset, it is worth noting that simple movements can be either discrete or rhythmic (details of this distinction are discussed in Hogan & Sternad, 2012 and Hogan & Sternad, 2007). A discrete movement begins as a departure from a stable posture and ends with returning back to a stable posture. Usually, one-dimensional (single coordinate) movements like flexing or extending the arm at the elbow or wrist joint are considered to be examples of simple discrete movements. Rhythmic movements are formed by repeating some motion pattern in a cycle. It is important that adjacent movements are not separated by a stationary posture; otherwise the result would be a sequence of discrete movements, not a simple rhythmic movement. The category of rhythmic movements includes free or almost free limb oscillations. Playing violin vibrato, performing a simple repetitive finger tapping, and shading in a contour drawing are typical examples of movements that belong to the domain of simple rhythmic movements. Simple movements, both discrete and rhythmic, are characterized by a simple spatial trajectory (such as linear or elliptical) and involve a small number of mechanical degrees of freedom.

Numerous studies have shown that in the condition when no spatial accuracy is required, two population-averaged values — the duration of the fastest discrete movement and the duration of a cycle of a rhythmic movement — do not differ by more than a few tens of milliseconds. The duration of the fastest isotonic discrete

movement is estimated to be 152 ms (Freund & Büdingen, 1978). When simple repetitive tapping is performed, predominantly using motility in the wrist joint, the mean cycle duration is 166 ms; when taps are made using index finger movements, this value is 176 ms (Jackson, 1953). The tapping interval durations close to those mentioned above were found by other authors: 150 ms (Kurgansky & Podlepa, 1998) and 169 ms (McAuley, Jones, Holub, Jonston, & Miller, 2006). The duration of a single cycle of a one-dimensional oscillation performed at the fastest possible tempo is estimated to be 167 ms (Heuer & Schulna, 2002). A single cycle of moving a pencil tip to and fro along a straight line as well as a single cycle of drawing of a circle lasts 190 ms (Dounskaia, Van Gemmert, & Stelmach, 2000).

Note that mechanical laws do not impose any direct restrictions on the attainable frequency of oscillatory motions. In a linear approximation that remains valid for small movement amplitudes, the frequency of limb oscillation is determined solely by the frequency of applied force which, in turn, depends on the rate of motor commands. Inertial properties of moving a limb (mass and moment of inertia) make a moving limb act as a low pass filter, causing the amplitude of oscillatory movement to decrease with increasing frequency of oscillation (Freund, 1986). Thus, biomechanics still may limit the movement rate, although indirectly: high frequency oscillatory movements of a smaller amplitude can be performed at a higher frequency than those of a larger amplitude. Note that in the above case we witness the compensatory factor in action: the maximum frequency of an oscillatory movement is limited not by some underlying time consuming process but directly adjusted in order to preserve the required amplitude.

The principal peripheral time-consuming factor that determines the lowest physiological limit for movement time is the process of muscular force development. The major contributor here is the duration of twitch, a force pulse developed by the motor unit whose fibers have been affected by a single spike of the associated motor neuron. Twitch duration depends on calcium kinetics in the muscle fibers. Twitch duration cannot be altered by any neural commands because it is not under nervous system control.

Indeed, the duration of the fastest discrete movement as well as the frequency of the most rapid oscillatory movement is closely related to twitch duration. The oyster toadfish (*Opsanus tau*) is capable of producing a sound with high frequency (up to 200 Hz) oscillatory contractions of the muscles attached to its swim bladder. These muscles are capable of supporting a high frequency of contraction because of a very short muscle twitch that lasts just a few milliseconds (Rome & Lindstedt, 1998). The high frequency of wing oscillations during hummingbird flight is supported by a short muscle twitch of 12.5 ms (pectoralis and supracoracoideus) and a short motor command (motor neuron issues just a single spike) causing the twitch (Tobalske, Biewener, Warrick, Hedrick, & Powers, 2010). In muscles of the human arm and hand, a typical twitch lasts considerably longer. For example, in muscles of the human palm, twitch duration ranges from 100 to 470 ms (Milner-Brown, Stein, & Yemm, 1973; Thomas, Bigland-Ritchie, Westling, & Johansson, 1990; McNulty, Falland, & Macefield, 2000). Accordingly, the discrete and

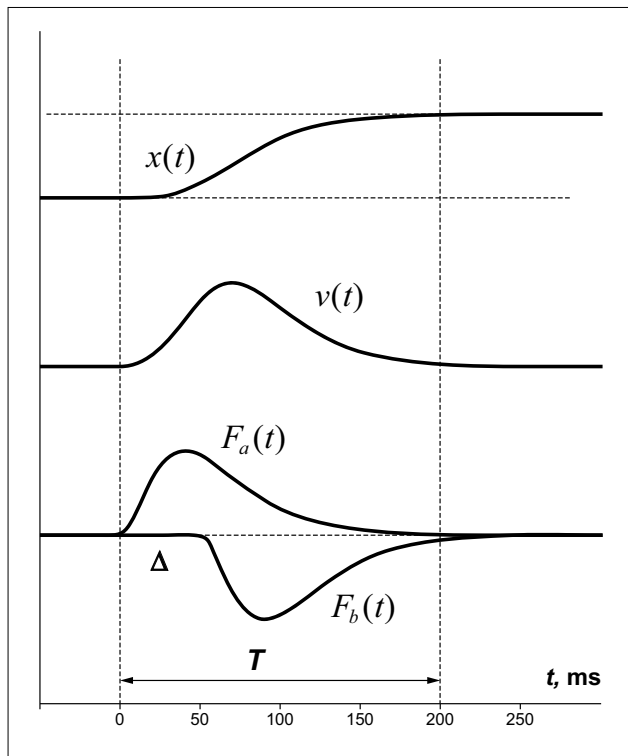


Figure 1. Temporal structure of a fast one-dimensional movement of a given spatial extent. Shown are: accelerating force pulse $F_a(t)$ and decelerating force pulse $F_b(t)$ that is delayed relative to the former by Δ (bottom plot); instant velocity profile $v(t)$ corresponding to the pair of force pulses (middle plot); and trajectory $x(t)$ of the motion (upper plot).

rhythmic manual movements that we observe in humans are considerably slower than the above examples of movements in other species.

The fastest discrete and rhythmic movements are characterized by a simplest kinematic pattern. The fastest discrete movements have a bell-shaped velocity profile (Morasso, 1981); that is, their velocity profile contains a single submovement, a primary movement (see Figure 1). Likewise, the fastest rhythmic movements do not show any fine kinematic structure (usually resulting in multiple submovements) but instead approach sinusoidal oscillation (Guiard, 1993). The latter is also supported by electromyographic data: within a single cycle of such a fast oscillation, agonist and antagonist muscles are activated only once, producing a single pair of reciprocal force pulses (Heuer & Schulna, 2002). A similar picture can be found for a fast discrete movement. The only difference between oscillatory and discrete cases is that in the latter a triphasic activation pattern is observed (Gielen et al., 1985).

The duration of an isolated discrete movement is determined by the overall duration of the accelerating $F_a(t)$ and decelerating $F_b(t)$ force pulses that are developed in synergistic muscles (Nelson, 1983; Schmidt, Zelaznik, Hawkins, Frank, & Quinn Jr., 1979). The discrete movement begins with the very onset of an accelerating force pulse and ends when the decelerating force pulse terminates. Of importance here are not only the durations of $F_a(t)$ and $F_b(t)$ pulses, but also the delay Δ of the beginning of the second ($F_b(t)$) pulse relative to the first ($F_a(t)$) pulse. The minimum duration of accelerating $F_a(t)$ and braking $F_b(t)$ pulses depends on the distribution of motor unit twitch dura-

tion in the muscles involved, on the time taken to recruit these motor units (Ulrich & Wing, 1991), and on the extent to which motor unit recruitment synchronizes in synergistic muscles (d'Avella & Lacquaniti, 2013).

The recruitment of motor units and their subsequent release proceeds in an orderly fashion known as “size principle” (Henneman, 1957). This process is stereotypical and stable (Adam & De Luca, 2003); it hardly can be a means of reducing the duration of force development. Although the shape and duration of a motor unit twitch depends on postactivation potentiation (Gurfinkel, Levik, & Polyakov, 1988; Gurfinkel, Ivanenko, & Levik, 1999), in physiologically realistic conditions of executing discrete reaching movements and simple rhythmic movements these parameters (shape and duration) seem to remain relatively fixed.

It follows from the above consideration that a reduction of discrete movement duration can be achieved by shortening a central motor command (reducing the duration of the spike train issued by motor neurons), by increasing the synchrony of involved synergistic muscles, and, in the condition of the shortest central command and perfect intermuscular synchronization, by reducing Δ — the delay of the braking force pulse $F_b(t)$ relative to the accelerating force pulse $F_a(t)$ (Gielen et al., 1985).

As the delay Δ gets smaller, the extent to which $F_a(t)$ and $F_b(t)$ overlap increases. Preservation of the movement amplitude (the spatial extent of the movement) requires a compensatory increase in the magnitude of both pulses. Such a compensation meets its physiological limit when all available motor units are recruited. Even more important is the fact that increasing muscular force is accompanied by a proportional growth of force variability (Schmidt et al., 1979; Keele, Ivry, & Pokorný, 1987; Hamilton, Jones, & Wolpert, 2004). The latter leads to an increased probability of committing an error that is inconsistent with the movement goal (e.g. missing a spatial goal, unacceptable distortion of spatial trajectory, muscle spasm, etc.). The probability of committing such an error sharply grows as movement time T gets shorter. Hence, accomplishing a successful movement with an acceptable risk of committing an error requires controlling movement time. Below we return to this issue while discussing Fitts’s law.

2. Principles of Trajectory Planning and Minimal Movement Time

The presence of a redundant number of mechanical degrees of freedom in the motor system (Bernstein, 1967) raises the problem of choosing a unique trajectory of actual movement among a continuum of equally possible trajectories (Viviani & Flash, 1995). In this section, we discuss which restrictions are imposed onto movement duration by known principles of trajectory formation.

Whenever a working point (such as the tip of a finger or a pen) moves along a flat curvilinear trajectory, the time to traverse this trajectory depends on its curvature: the greater the curvature, the slower the motion, all other things being equal. Mathematically, this dependence is described by the empirical two-third power law (Lacquaniti, Terzuolo,

& Viviani, 1983; Viviani & Flash, 1995), which is considered to be one of several kinematic invariants (Dounskaia, 2007).

Some researchers consider the two-third power law as a principle used by the central nervous system (CNS) to form (or select) a movement trajectory (Viviani & Flash, 1995; Polyakov, Stark, Drori, Abeles, & Flash, 2009). Therefore, one might expect that the two-third power law reflects the constraints imposed onto the shortest possible movement time by central processes. Let us take a closer look at the issue.

Assume that at any given moment of time, t , the working point moves with the velocity $V(t)$ along some curvilinear flat trajectory (as is the case during line drawing or handwriting) whose curvature at that moment equals $C(t)=R^{-1}(t)$. Here $R(t)$ corresponds to the radius of the curvature.

The two-third power law (2/3) reads either

$$V(t)=GC(t)^{2/3} \quad (1)$$

or

$$V(t)=GR(t)^{1/3}, \quad (2)$$

where G is a coefficient of proportionality.

Expressions (1) and (2) predict that the speed with which the trajectory is traced decreases as its curvature $C(t)$ grows. Therefore, the overall movement time along any trajectory characterized by the presence of segments of strong curvature is expected to be longer than the time required to move along a segment of a straight line of the same length. Is it possible to determine the minimum movement time based on the two-third power law? The answer is no. To understand why, consider a particular case of movement along a path of constant curvature, a circle of radius R_0 .

It follows from formula (2) that the circle would be traversed with a constant velocity of $V_0=GR_0^{1/3}$. The period T of the circular motion can be easily determined by dividing the circumference $2\pi R_0$ by the velocity V_0 :

$$T=2\pi R_0/V_0=2\pi R_0/GR_0^{1/3}. \quad (3)$$

Substituting $V_0=GR_0^{1/3}$ into expression (3), we finally obtain:

$$T=\frac{1}{G}\frac{2\pi R_0}{R_0^{1/3}}=\frac{2\pi}{G}R_0^{2/3}. \quad (4)$$

If G is considered to be a universal constant then it follows from expression (4) that, first, time T is fixed given a fixed radius R_0 (i. e. a circle of a given radius could be traversed in a unique way which takes the time given by formula (4)). Second, movement time can be made arbitrarily short by reducing the radius of the circle to zero. Neither outcome of the formula (4) can be taken seriously. If G is allowed to depend on the trajectory length (Viviani & Flash, 1995), then the two-third power law loses its predictive power and remains no more than a tool for data approximation. Finally, if following Dounskaia's suggestion (2007), one assumes that G is proportional to the frequency of cyclic movement (see Expression 10 in the cited paper); that is, if $G=K/T$, then expression (4) does not contain time T . Therefore we conclude that the two-third power law is of no help in an attempt to determine the minimum movement time.

Are there theoretical models of motor control and trajectory formation that are capable of shedding light on the origin of the minimum movement duration? As pointed out by Tanaka and co-authors (Tanaka, Krakauer & Qian, 2006), movement time is considered to be an externally determined parameter. Indeed, this is the case in the motor program approach (Morasso & Mussa-Ivaldi, 1982; Rosenbaum, Kenny, & Derr, 1983; Schmidt, 1975; Schmidt, 2003), in the equilibrium point hypothesis (Levin, Feldman, Milner, & Lamarre, 1992; Feldman, 2011), in the framework of internal models (Kawato, 1999) and dynamic pattern (Haken, Kelso, & Bunz, 1985; Kelso, 2010) approaches, and in the most of the models that are based on the principles of optimal control (Harris & Wolpert, 1998; Diedrichsen, Shadmehr, & Ivry, 2010).

It is interesting to point out that perhaps the most popular model of optimal motor control, the minimum jerk model (Flash & Hogan, 1985; Todorov & Jordan, 1998), still predicts a certain functional relationship between the spatial extent of a movement and its duration (although it takes movement time as external prescribed parameter).

Indeed, in the case of one-dimensional motion, the minimum jerk model gives the following expression for the minimum of the jerk value (Viviani & Flash, 1995; Engelbrecht, 2001):

$$J_{min}=60D^2T^{-5}\left(6-2A_0T^2/D+A_0^2T^4/5D^2\right), \quad (5)$$

where D corresponds to movement amplitude, T stands for movement time, and A_0 denotes an initial acceleration value. For a discrete movement, $A_0=0$, the expression (5) simplifies to $J_{min}=360D^2T^{-5}$. It follows from here that movement time is proportional to its amplitude raised to 2/5 power: $T=Q_{disc}D^{2/5}$, where Q_{disc} is a coefficient of proportionality. Quite similarly, for fast reciprocal movements whose law of motion is almost sinusoidal, a maximum of acceleration is reached at the moment when the position maximally departs from the equilibrium point (i.e. position equals amplitude). In that case, the smallest J value is reached at $A_0=5D/T^2$, which gives $J_{min}=60D^2T^{-5}$. Thus, the duration of a single cycle of oscillatory motion, just like in the case of discrete movement, is directly proportional to the amplitude of that motion raised into 2/5 power: $T=Q_{cont}D^{2/5}$, with Q_{cont} being the coefficient of proportionality.

Such one-to-one functional relationship $T\sim D^{2/5}$ between movement time and its amplitude means that formally, movement time can be made arbitrarily small by reducing the amplitude of that motion, just like in the expression (4). Therefore, similar to the case of circular motion governed by the two-third power law which we considered above, in the case of motion obeying the minimum jerk rule the minimum for the movement duration cannot be derived from the model and should be determined from the outside.

3. Minimum Duration of Movement and Its Spatial Accuracy: Fitts's Law

A research area that has close connections to the issue of minimal movement time and maximal sequence rate is the study of speed-accuracy tradeoff, or the reciprocal rela-

tionship between movement velocity and the spatial accuracy with which it has to be executed. The simplest movement task for which this relationship holds true is known as Fitts's task. This task assumes that a movement of a given spatial extent must be executed as quickly as possible, conditioned on the movement ends within a spatial target of a given size.

Suppose that human subjects cyclically move a stylus between two strips of width D separated by the distance W . Mathematically, the relationship between the required spatial accuracy and movement time is given by Fitts's law (Fitts, 1954; Schmidt et al., 1979; Meyer, Abrams, Kornblum, Wright, & Keith Smith, 1988; Smits-Engelsman, Van Galen, & Duysens, 2002) which is shown here in its original form:

$$T = T_0 + B \log_2 \left(\frac{2D}{W} \right). \quad (6)$$

Here T_0 denotes a physiological limit for the duration of a simple free movement whose spatial accuracy is not constrained in any way. This duration, just like coefficient B , is an empirical parameter. The required spatial

accuracy affects movement time via the value $ID = \log_2 \left(\frac{2D}{W} \right)$ known as index of difficulty. This index increases with growing movement extent D and decreasing size W of the spatial target.

The empirically established expression (6) allows for predicting the movement time for a broad but still limited class of discrete linear (one dimensional) movements when spatial accuracy of their start and end positions are explicitly given. Problems are encountered when one tries to apply Fitts's law to flat curvilinear movements such as those used in handwriting: in that case, it is not as clear what should be taken as D and W .

Note that Fitts's law (6) originates not as a result of some process that lasts longer for more precise movements, but from a necessity to reduce the speed of movement in order to meet the precision requirements. Thus, the smallest possible movement time depends on a compensatory factor. It should be pointed out that a restriction on the minimal movement duration appears if movement variability is explicitly taken into account. Accordingly, almost all attempts at deriving Fitts's law from some general principles were based on an essential premise of the presence of noise in the motor system (Meyer et al., 1988; Plamondon & Alimi, 1997; Harris & Wolpert, 1998; Tanaka et al., 2006; Qian, Jiang, Jiang, & Mazzoni, 2013).

One possible exception to the above rule is when the motor system is considered to be a dynamic system, a movement is modeled by the time evolution of that dynamic system, and the minimal duration of the movement is related to the loss of stability by that system. For example, Alexandrov and co-authors (Alexandrov, Mergner, Frolov, Hettich, & Muraviev, 2013) have studied a model dynamic system that describes the natural synergies of the human body in the standing position. They showed that, if the transport delay was taken into account, this model dynamic system lost its stability which resulted in a complete disruption of the planned movement. Therefore, the limit imposed on the minimum movement duration was caused not by some source of variability but

by the arrangement of the entire dynamic system. Nonetheless, even in this case, the internal noise in the system should reveal itself in growing movement variability as the still stable system approaches the point of stability loss.

4. Executing Motor Sequences in Maximal Tempo and Time Taken by Central Processes

In the motor repertoire of humans, simple isolated movements along linear or curvilinear paths are greatly outnumbered by movement sequences of differing complexity. Naturally, the shortest attainable movement duration for each of the separate movements that constitute a sequence depends on the compensatory and time-consuming factors considered in the above sections.

Arranging several movements into a sequence causes new effects: the durations of the constituents become sensitive to several factors related to the structure of the sequence. For example, it is known that the duration of a movement that belongs to a sequence depends on the sequence length (Sternberg, Monsell, Knoll, & Wright, 1978; Rhodes, Bullcock, Verwey, Averbeck, & Page, 2004) and is affected by how the movements performed by different effectors are combined (Rosenbaum et al., 1983) and coordinated (Peper, Beek, & van Wieringen, 1995).

In an overwhelming majority of experimental studies, executing a motor sequence with maximal speed is used in the experimental design as the condition that allows for gaining valuable information about the internal representation of the sequence and cognitive processes, both those taking place during sequence execution and those preceding it. As a consequence of that approach, the central factors that determine the overall duration of the sequence and timing of its units are time-consuming by their nature. In other words, the slowing down of general execution as well as increased execution time of separate units of the sequence are linked to the time taken by central processes. Some examples of the central process affecting sequence timing include a memory search for a subprogram for a sequence element (Sternberg et al., 1978), passing control to the next node of a tree-like hierarchical motor program while traversing it (Rosenbaum et al., 1983), and competition of simultaneously activated nodes in the framework of a competitive queuing model (CQ-model) of maintaining serial order. Consideration of these processes which we refer to in this paper as the time-consuming factor is beyond the scope of the present work. These processes are discussed in detail in a comprehensive review by Rhodes and co-authors (Rhodes et al., 2004) and in a study by Verwey and co-authors (Verwey, Shea, & Wright, 2015).

In the rest of the paper, we try to show that besides the aforementioned time-consuming factor, the fastest rate of sequence execution also depends on the compensatory factor, i.e. the need for purposeful regulation of durations of separate movements in order to keep other sequence parameters within some meaningful range. In that regard, movement sequences are no different from isolated movements: both compensatory and time-consuming factors affect movements of each of the two classes.

5. Controlling Movement Duration is a Way of Providing Equal Chances of Success for Motor Sequences of Different Lengths

Increasing movement variability (reduction of its spatial accuracy, in particular) as the duration of the movement decreases leads to a higher probability of committing an error and therefore missing the movement goal. For example, it may happen that a human subject misses the spatial target of width W while performing the Fitts's task, or an attempt to check an e-mail inbox fails because a wrong key is pressed while entering the password.

If several movements are arranged into a sequence and increasing the rate of execution of the sequence is accomplished by reducing the durations of the units of the sequence (but not by shortening pauses between the units), then the higher execution rate leads to a higher probability of making a mistake while executing each of the constituent movements. Meanwhile, there are many situations when committing even a single error during execution of a sequence makes the sequence completely useless (such as when playing a piece of music or dialing a telephone number). Therefore, in these cases there is a need for keeping the error probability at a low enough level for long as well as short sequences.

Let us consider how keeping a certain low level of error probability would affect the execution rate of a sequence consisting of N identical discrete movements. Let us assume that the probability of committing an error during the sequence execution should not exceed α . Below we use symbol p_e to denote the probability of committing an error during the execution of a single movement belonging to a sequence.

In practical terms, the condition for successful execution of a single movement reads $p_e \leq \alpha$. Keeping the probability of erroneous execution of the entire sequence at α level means that the probability P_1 of encountering at least one error does not exceed α . The probability P_1 is easily com-

puted if errors are statistically independent. In that case, the probability that no error occurs in each of N units is $(1-p_e)^N$, and the probability of a complimentary event, i.e. the presence of at least one error, is $P_1 = 1 - (1-p_e)^N$. At small p_e values, the approximation $P_1 = Np_e$ holds almost true. Hence, keeping P_1 at a constant level of α requires that a growth in sequence length N would be accompanied by a reduction in the probability p_e of committing an error; that is, p_e should be inversely proportional to N : $p_e = \alpha/N$.

It is easy to see that if p_e monotonically grows as the movement duration T gets shorter (exactly the case for the source of errors of peripheral origin which were addressed in Section 1), then it follows from the relationship $p_e = \alpha/N$ that maintaining $P_1 = \alpha$ while N increases is possible only by increasing T . It is worth stressing that one does not need to know an exact $p_e(T)$ function. It is sufficient to assume that at a given movement amplitude, the probability p_e is a monotonically decreasing function of duration $p_e = h(T)$, such as shown in Figure 2A. With this choice of function, duration T monotonically decreases as probability p_e grows from 0 to 1 (Figure 2B), and therefore it monotonically increases with the growth of the

inverse value of $\frac{1}{p_e}$ (Figure 2C). Since it follows from

$p_e = \alpha/N$ that $\frac{1}{p_e} = \frac{N}{\alpha}$, the movement time T monotonically

increases with a greater sequence length N . The latter

effect is clearly seen from the T of $\frac{1}{p_e}$ plot (Figure 2C),

on which points corresponding to $\frac{1}{p_e} = \frac{N}{\alpha}$ for $N = 1, 2, \dots, 5$

are plotted as circles.

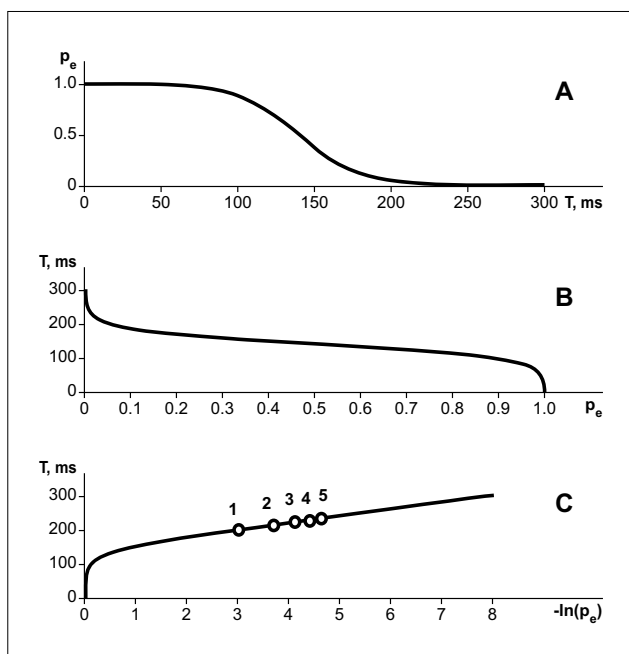


Figure 2. The duration T of a single movement grows with the number N of movements in the sequence. **A.** The probability p_e of making an error while executing a single movement as a function of the duration T of that movement (in milliseconds); **B.** The duration T as a function of probability p_e ; **C.** The duration T as a function of the probability of logarithm of

$$\frac{1}{p_e},$$

i.e. the inverse of probability p_e . Circles shown on the T vs. $-\log(p_e)$ correspond to a fixed probability P_1 of making at least one mistake in the sequence of N identical movements ($N = 1, 2, \dots, 5$) and decreasing probability

$$p_e = \frac{\alpha}{N}$$

($\alpha = .05$) of committing an error during execution of each of the movements. The plots shown on **B** and **C** are derived from the curve shown on **A**. The latter is computed according to the formula

$$p_e = \frac{1}{1 + e^{g(T-T_0)}}$$

with $g = 0.05$ and $T_0 = 140$ as parameters.

Thus, it is possible that the reduction in sequence execution rate that accompanies the growth of a sequence length — a well established effect usually attributed to a longer duration of cognitive processing (Rhodes et al., 2004; Abrahamse, Ruitenberg, Kleine, & Verwey, 2013; Verwey et al., 2015) — might be a consequence of quite a different cause: the need to maintain an error probability below a certain level.

6. Concluding Remarks

In the previous section we considered the effect of the reduction of a motor sequence execution rate that occurs as a sequence gets longer. We considered the case in which this effect is caused exclusively by the necessity to provide a certain level of flawless performance, with a slowing of individual movements the only way to achieve that. With regard to this effect, the following has to be pointed out.

Whenever an isolated simple movement is executed, the probability of committing an error is determined by the nature of central and peripheral processes underlying execution of the movement. The increase in error probability resulting in a compensatory adjustment of a movement duration has a completely different cause. It is not related to any CNS process and in fact has nothing to do with cognitive processes. The probability of committing at least one error when several movements are arranged into a single sequence grows with a higher number of movements. The same holds true for any processes or event of an arbitrary nature; the phenomenon is not specific to movements. This effect is similar to the greater type I error rate found when the number of statistical tests increases. Accordingly, the compensation of this unwelcome increase by way of a reduced execution rate is similar to applying Bonferroni correction.

Since the compensatory factor acts by keeping the probability of successful performance at a given level, the question arises as to how the CNS estimates probability. An obvious candidate is the course of learning during which the success rate of multiple attempts to perform a motor sequence is estimated. The prediction that is based on probability estimation plays a prominent role in motor planning and in executing movements in conditions of uncertainty (Bays & Wolpert, 2007).

In Section 5, we considered a simple case of a motor sequence consisting of identical elementary movements, with sequence length being the only parameter of sequence complexity. In more realistic cases, a sequence might be composed of non-identical movements (movements executed by different effectors, movements requiring different spatial accuracy, or a mixture of movements that do and do not need to be coordinated to some external sensory events) that are different with respect to the form of $p_e = h(T)$ function, i.e. the function that shows how the error probability depends on movement time. Sequences of this sort are part of many everyday activities, such as playing a piece of music or knitting. Keeping a certain probability of flawless execution of these sequences may require tuning of the duration for each element. In turn, the latter may cause the timing of sequence elements executed at the highest possible rate to become sensitive to sequence structure and complex-

ity. Additionally, the duration of a movement embedded in the sequence may differ from the duration of that movement executed separately.

It should be mentioned that the mechanism of muscular force development (see Section 1) is not the only contributing factor for compensatory slowing down of a sequence execution rate. A similar reduction in execution rate should be expected whenever a shortening of movements results in a greater error rate, no matter where the source of errors resides: in the periphery or the central divisions of the motor system. It seems that the compensatory adjustment of the fastest attainable sequence production rate that is caused by a growing sequence length can be considered as a special instance of the general speed-accuracy tradeoff principle that applies not only to the domain of relatively simple motor sequences but also to cognitive processes (Wickelgren, 1977; Heitz, 2014).

The presence of several factors affecting the maximum production rate of a motor sequence causes some uncertainty in the interpretation of experimental data. When studying the spatio-temporal structure of a motor sequence executed at its fastest rate, it must be determined to which extent each of the two factors, time-consuming and compensatory, contributes to the timing of the sequence. Typical developmental and clinical studies must take into consideration the fact that the compensatory factor may be of importance whenever there is a need to compare two experimental groups whose participants differ not only with respect to their putative motor control capabilities but the level of variability of their motor output.

References

- d'Avella, A., & Lacquaniti, F. (2013). Control of reaching movements by muscle synergy combinations. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 7, 42:1–7. doi:10.3389/fncom.2013.00042
- Abrahamse, E.L., Ruitenberg, M.F.L., De Kleine, E., & Verwey, W.B. (2013). Control of automated behavior: Insights from the discrete sequence production task. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7(82), 1–16. doi:10.3389/fnhum.2013.00082
- Adam, A., & De Luca, C.J. (2003). Recruitment order of motor units in human vastus lateralis muscle is maintained during fatiguing contractions. *Journal of Neurophysiology*, 90(5), 2919–2927. doi:10.1152/jn.00179.2003
- Alexandrov, A.V., Mergner, T., Frolov, A.A., Hettich, G., & Muraviev, I.P. (2013). Stable control of posture and movements in standing humanoid using a human-inspired natural synergies concept. *Russian Journal of Biomechanics*, 17(1), 94–109. (In Russian).
- Bays, P.M., & Wolpert, D.M. (2007). Computational principles of sensorimotor control that minimize uncertainty and variability. *The Journal of Physiology*, 578(2), 387–396. doi:10.1113/jphysiol.2006.120121
- Bernstein, N.A. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon Press.
- Bullock, D. (2004). Adaptive neural models of queuing and timing in fluent action. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(9), 426–433. doi:10.1016/j.tics.2004.07.003
- Diedrichsen, J., Shadmehr, R., & Ivry, R.B. (2010). The coordination of movement: Optimal feedback control and beyond. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(1), 31–39. doi:10.1016/j.tics.2009.11.004
- Dounskaia, N. (2007). Kinematic invariants during cyclical arm movements. *Biological Cybernetics*, 96(2), 147–163. doi:10.1007/s00422-006-0109-1

- Dounskaia, N., Van Gemmert, A. W. A., & Stelmach, G. E. (2000). Interjoint coordination during handwriting-like movements. *Experimental Brain Research*, 135(1), 127–140. doi:10.1007/s002210000495
- Engelbrecht, S. E. (2001). Minimum principles in motor control. *Journal of Mathematical Psychology*, 45(3), 497–542. doi:10.1006/jmps.2000.1295
- Feldman, A. G. (2011). Space and time in the context of equilibrium-point theory. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 2(3), 287–304. doi:10.1002/wcs.108
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47(6), 381–391. doi:10.1037/h0055392
- Flash, T., & Hogan, N. (1985). The coordination of arm movements: An experimentally confirmed mathematical model. *Journal of Neuroscience*, 5(7), 1688–1703.
- Freund, H.-J. (1986). Time control of hand movements. In H. J. Freund, U. Büttner, B. Cohen, & J. Noth (Eds.), *The oculomotor and skeletal-motor systems. Progress in brain research. Vol. 64, Vol. 64.* (pp. 287–294). Elsevier. doi:10.1016/s0079-6123(08)63423-8
- Freund, H.-J., & Büdingen, H. J. (1978). The relationship between speed and amplitude of the fastest voluntary contractions of human arm muscles. *Experimental Brain Research*, 31(1), 1–12. doi:10.1007/bf00235800
- Gielen, C. C., Van den Oosten, K., & Pull ter Gunne, F. (1985). Relation between EMG activation patterns and kinematic properties of aimed arm movements. *Journal of Motor Behavior*, 17(4), 421–442. doi:10.1080/00222895.1985.10735359
- Guiard, Y. (1993). On Fitts's and Hooke's laws: Simple harmonic movement in upper-limb cyclical aiming. *Acta Psychologica*, 82(1), 139–159. doi:10.1016/0001-6918(93)90009-g
- Gurfinkel, V. S., Ivanenko, Y. P., & Levik, Y. S. (1999). Sootnoshenie sila-zhestkost skeletnoi myshtcy zavisit ot urovnia aktivatsii sokratitel'nogo apparata i predystorii sokrashcheniia [Relationship between the strength and stiffness of the skeletal muscle depends on the level of activation of the contractile apparatus and on contraction prehistory]. *Fiziologiya Cheloveka*, 25(3), 95–101. (In Russian).
- Gurfinkel, V. S., Levik, Y. S., & Polyakov, A. V. (1988). Izmeneniia mekhanicheskikh parametrov odinochnogo sokrashcheniia skeletnoi myshtcy cheloveka pri razlichnykh rezhimakh aktivatsii [Variation of mechanical parameters of the single contraction of the human skeletal muscle in different activation states]. *Fiziologiya Cheloveka*, 14(6), 1001–1007. (In Russian).
- Haken, H., Kelso, J. S., & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics*, 51(5), 347–356. doi:10.1007/bf00336922
- Hamilton, A. F., Jones, K. E., & Wolpert, D. M. (2004). The scaling of motor noise with muscle strength and motor unit number in humans. *Experimental Brain Research*, 157(4), 417–430. doi:10.1007/s00221-004-1856-7
- Harris, C. M., & Wolpert, D. M. (1998). Signal-dependent noise determines motor planning. *Nature*, 394(6695), 780–784.
- Heitz, R. P. (2014). The speed-accuracy tradeoff: History, physiology, methodology, and behavior. *Frontiers in Neuroscience*, 8, 150:1–19. doi:10.3389/fnins.2014.00150
- Henneman, E. (1957). Relation between size of neurons and their susceptibility to discharge. *Science*, 126(3287), 1345–1347. doi:10.1126/science.126.3287.1345
- Heuer, H., & Schulna, R. (2002). Phasing of muscle activity during rapid finger oscillations. *Journal of Motor Behavior*, 34(3), 277–289. doi:10.1080/00222890209601946
- Hogan, N., & Sternad, D. (2007). On rhythmic and discrete movements: reflections, definitions and implications for motor control. *Experimental Brain Research*, 181(1), 13–30.
- Hogan, N., & Sternad, D. (2012). Dynamic primitives of motor behavior. *Biological Cybernetics*, 106(11-12), 727–739. doi:10.1007/s00422-012-0527-1
- Jackson, C. V. (1953). Differential finger tapping rates. *The Journal of Physiology*, 122(3), 582–587. doi:10.1113/jphysiol.1953.sp005022
- Kawato, M. (1999). Internal models for motor control and trajectory planning. *Current Opinion in Neurobiology*, 9(6), 718–727. doi:10.1016/s0959-4388(99)00028-8
- Keele, S. W., Ivry, R. I., & Pokorný, R. A. (1987). Force control and its relation to timing. *Journal of Motor Behavior*, 19(1), 96–114. doi:10.1080/00222895.1987.10735402
- Kelso, S. (2010). Instabilities and phase transitions in human brain and behavior. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 23:1–2. doi:10.3389/fnhum.2010.00023
- Kurgansky, A. V., & Podlepa, A. S. (1998). Zavisimost vremennykh kharakteristik ritmicheskikh dvizhenii ot ikh strukturnoi slozhnosti [Temporal characteristics of the rhythmic movements as a function of their structural complexity]. *Moscow University Psychology Bulletin*, (3), 16–28. (In Russian).
- Lacquaniti, F., Terzuolo, C., & Viviani, P. (1983). The law relating the kinematic and figural aspects of drawing movements. *Acta Psychologica*, 54(1), 115–130. doi:10.1016/0001-6918(83)90027-6
- Levin, M. F., Feldman, A. G., Milner, T. E., & Lamarre, Y. (1992). Reciprocal and coactivation commands for fast wrist movements. *Experimental Brain Research*, 89(3), 669–677. doi:10.1007/bf00229891
- McAuley, J. D., Jones, M. R., Holub, S., Johnston, H. M., & Miller, N. S. (2006). The time of our lives: Life span development of timing and event tracking. *Journal of Experimental Psychology: General*, 135(3), 348–367. doi:10.1037/0096-3445.135.3.348
- McNulty, P. A., Falland, K. J., & Macefield, V. G. (2000). Comparison of contractile properties of single motor units in human intrinsic and extrinsic finger muscles. *The Journal of Physiology*, 526(2), 445–456. doi:10.1111/j.1469-7793.2000.t01-2-00445.x
- Meyer, D. E., Abrams, R. A., Kornblum, S., Wright, C. E., & Keith Smith, J. E. (1988). Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements. *Psychological Review*, 95(3), 340–370. doi:10.1037//0033-295x.95.3.340
- Milner-Brown, H. S., Stein, R. B., & Yemm, R. (1973). The orderly recruitment of human motor units during voluntary isometric contractions. *The Journal of Physiology*, 230(2), 359–370. doi:10.1113/jphysiol.1973.sp010192
- Morasso, P. (1981). Spatial control of arm movements. *Experimental Brain Research*, 42(2), 223–227. doi:10.1007/bf00236911
- Morasso, P., & Mussa-Ivaldi, F. A. (1982). Trajectory formation and handwriting: A computational model. *Biological Cybernetics*, 45(2), 131–142. doi:10.1007/bf00335240
- Nelson, W. L. (1983). Physical principles for economies of skilled movements. *Biological Cybernetics*, 46(2), 135–147. doi:10.1007/bf00339982
- Peper, C. E., Beek, P. J., & van Wieringen, P. C. W. (1995). Multi-frequency coordination in bimanual tapping: Asymmetrical coupling and signs of supercriticality. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(5), 1117–1138. doi:10.1037//0096-1523.21.5.1117
- Plamondon, R., & Alimi, A. M. (1997). Speed/accuracy tradeoffs in target-directed movements. *Behavioral and Brain Sciences*, 20(02), 279–303. doi:10.1017/s0140525x97001441
- Polyakov, F., Stark, E., Drori, R., Abeles, M., & Flash, T. (2009). Parabolic movement primitives and cortical states: Merging optimality with geometric invariance. *Biological Cybernetics*, 100(2), 159–184. doi:10.1007/s00422-008-0287-0
- Qian, N., Jiang, Y., Jiang, Z.-P., & Mazzoni, P. (2013). Movement duration, Fitts's law, and an infinite-horizon optimal feedback control model for biological motor systems. *Neural Computation*, 25(3), 697–724. doi:10.1162/neco_a_00410
- Rhodes, B. J., Bullock, D., Verwey, W. B., Averbeck, B. B., & Page, M. P. A. (2004). Learning and production of movement sequences: Behavioral, neurophysiological, and modeling perspectives. *Human Movement Science*, 23(5), 699–746. doi:10.1016/j.humov.2004.10.008
- Rome, L. C., & Lindstedt, S. L. (1998). The quest for speed: Muscles built for high-frequency contractions. *Physiology*, 13(6), 261–268.

- Rosenbaum, D. A., Kenny, S. B., & Derr, M. A. (1983). Hierarchical control of rapid movement sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9(1), 86–102. doi:10.1037//0096-1523.9.1.86
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82(4), 225–260. doi:10.1037/h0076770
- Schmidt, R. A. (2003). Motor schema theory after 27 years: Reflections and implications for a new theory. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74(4), 366–375. doi:10.1080/02701367.2003.10609106
- Schmidt, R. A., Zelaznik, H., Hawkins, B., Frank, J. S., & Quinn Jr, J. T. (1979). Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological Review*, 86(5), 415–451. doi:10.1037//0033-295x.86.5.415
- Smits-Engelsman, B. C. M., Van Galen, G. P., & Duysens, J. (2002). The breakdown of Fitts' law in rapid, reciprocal aiming movements. *Experimental Brain Research*, 145(2), 222–230. doi:10.1007/s00221-002-1115-8
- Sternberg, S., Monsell, S., Knoll, R. L., & Wright, C. E. (1978). The latency and duration of rapid movement sequences: Comparisons of speech and typewriting. In G. E. Stelmach (Ed.), *Information processing in motor control and learning* (pp. 117–152). New York: Academic Press. doi:10.1016/b978-0-12-665960-3.50011-6
- Tanaka, H., Krakauer, J. W., & Qian, N. (2006). An optimization principle for determining movement duration. *Journal of Neurophysiology*, 95(6), 3875–3886. doi:10.1152/jn.00751.2005
- Thomas, C. K., Bigland-Ritchie, B., Westling, G., & Johansson, R. S. (1990). A comparison of human thenar motor-unit properties studied by intraneural motor-axon stimulation and spike-triggered averaging. *Journal of Neurophysiology*, 64(4), 1347–1351.
- Tobalske, B. W., Biewener, A. A., Warrick, D. R., Hedrick, T. L., & Powers, D. R. (2010). Effects of flight speed upon muscle activity in hummingbirds. *Journal of Experimental Biology*, 213(14), 2515–2523.
- Todorov, E., & Jordan, M. I. (1998). Smoothness maximization along a predefined path accurately predicts the speed profiles of complex arm movements. *Journal of Neurophysiology*, 80(2), 696–714.
- Ulrich, R., & Wing, A. M. (1991). A recruitment theory of force-time relations in the production of brief force pulses: The parallel force unit model. *Psychological Review*, 98(2), 268–294. doi:10.1037//0033-295x.98.2.268
- Verwey, W. B., Shea, C. H., & Wright, D. L. (2015). A cognitive framework for explaining serial processing and sequence execution strategies. *Psychonomic Bulletin Review*, 22(1), 54–77. doi:10.3758/s13423-014-0773-4
- Viviani, P., & Flash, T. (1995). Minimum-jerk, two-thirds power law, and isochrony: Converging approaches to movement planning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(1), 32–53. doi:10.1037//0096-1523.21.1.32
- Wallace, S. A. (1981). An impulse-timing theory for reciprocal control of muscular activity in rapid, discrete movements. *Journal of Motor Behavior*, 13(3), 144–160. doi:10.1080/00222895.1981.10735245
- Wickelgren, W. A. (1977). Speed-accuracy tradeoff and information processing dynamics. *Acta Psychologica*, 41(1), 67–85. doi:10.1016/0001-6918(77)90012-9

теоретические сообщения

О факторах, определяющих максимально быстрый темп выполнения двигательных последовательностей

Андрей Васильевич Курганский

Институт возрастной физиологии Российской академии образования, Москва, Россия

Аннотация. Максимально быстрый темп выполнения двигательных последовательностей определяется двумя факторами: (1) наличием в составе этих движений таких процессов периферийной или центральной природы, продолжительность которых не может быть сокращена ниже определенного предела (затратный фактор), и (2) целенаправленным управлением длительностью движений и темпом их следования с целью удержания в заданных пределах вероятности успешного выполнения всей последовательности как целого (компенсаторный фактор). Компенсаторный фактор обычно не принимают в расчет при анализе временной структуры двигательных последовательностей, выполняемых в максимально быстром темпе. Между тем его необходимо учитывать, поскольку, как показано в настоящей работе, снижение максимально быстрого темпа выполнения двигательной последовательности при увеличении ее длины — эффект, который обычно относили на счет затрат времени на когнитивные процессы, — может объясняться целенаправленным снижением длительности входящих в последовательность движений, то есть действием компенсаторного фактора.

Контактная информация: Андрей Васильевич Курганский, akurg@yandex.ru, 119121 Москва, ул. Погодинская, д. 8, корп. 2.

Ключевые слова: двигательные последовательности, длительность движения, максимально быстрый темп, закон Фитса, управление движениями, двигательное научение

© 2016 Андрей Васильевич Курганский. Данная статья доступна по лицензии [Creative Commons “Attribution” \(«Атрибуция»\) 4.0. всемирная](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), согласно которой возможно неограниченное распространение и воспроизведение этой статьи на любых носителях при условии указания автора и ссылки на исходную публикацию статьи в данном журнале в соответствии с канонами научного цитирования.

Благодарности. Автор признателен анонимным рецензентам за ценные комментарии и предложения.

Статья поступила в редакцию 5 февраля 2016 г.

Введение

Одним из требований, предъявляемых к двигательной системе человека природными и социальными условиями его существования, является достижение экстремальных значений одних параметров движений при соблюдении определенных ограничений на другие параметры. Часто требуется минимизировать время выполнения двигательной задачи при неизменном уровне успешности ее выполнения — типичная ситуация при формировании различных профессиональных (увеличение производительности трудовых операций)

и спортивных (достижение рекордной быстроты) навыков. Возникает вполне естественный вопрос о том, что ограничивает длительность отдельных движений и не позволяет увеличить темп выполнения двигательных последовательностей выше определенного предела.

В настоящей работе мы постараемся показать, что максимально быстрый темп выполнения двигательных последовательностей определяется двумя факторами. Прежде всего, длительность всей последовательности движений ограничена снизу наличием в составе этих движений таких процессов периферийной или центральной природы, продолжительность которых

не может быть сокращена ниже определенного предела. Совокупность этих процессов составляет то, что мы будем называть затратным фактором, влияющим на максимально быстрый темп выполнения последовательности движений.

Сокращение длительности отдельных движений и увеличение темпа выполнения составленной из них последовательности может приводить к снижению успешности выполнения двигательной задачи. В этом случае можно говорить о том, что максимальный темп выполнения последовательности ограничивается компенсаторным фактором, подразумевая под этим целенаправленное увеличение длительности отдельных движений и снижение темпа их следования с целью удержания в заданных пределах вероятности успешного выполнения всей последовательности.

Дальнейший текст статьи разбит на секции. В первой секции мы остановимся на описанных в литературе затратных и компенсаторных факторах, ограничивающих минимальное время движений и связанных с процессами, протекающими на двигательной периферии. Вторая секция посвящена вопросу о том, могут ли существующие модели управления движениями и формирования траектории помочь в выявлении факторов центральной природы, ограничивающих время выполнения движений. В третьей секции обсуждается реципрокная связь между длительностью движения и его пространственной точностью. Эта реципрокная связь рассматривается как пример компенсаторного ограничения длительности движения. Содержанием четвертой секции является обсуждение связи длительности центральных процессов в двигательной системе и максимально быстрого темпа выполнения двигательных последовательностей. В пятой секции, взяв в качестве примера последовательность одинаковых дискретных движений, мы покажем, что максимально быстрый темп выполнения двигательной последовательности определяется не только затратным фактором (длительностью процессов), но и требует учета компенсаторного фактора — целенаправленного снижения темпа выполнения последовательности, необходимого для поддержания ее успешного выполнения.

1. Ограничения на длительность простых движений, возникающие на периферическом уровне двигательной системы

Интенсивные исследования, выполненные в основном в 70–80 годах прошлого века, позволили выявить основные физиологические ограничения, налагаемые на минимальное время простого однокоординатного движения (вроде сгибания-разгибания руки в локтевом суставе) сократительными свойствами мышц и биомеханикой эффекторов (Freund, Büdingen, 1978; Gielen et al., 1985; Wallace, 1981). Эти ограничения непосредственно связаны с конечной и несократимой ниже определенного предела продолжительностью генерации усилия в мышцах и опосредованно — с ограниченностью и вариативностью развиваемого ими усилия.

Рассмотрим этот вопрос подробнее. Прежде всего, отметим, что простые движения могут быть дискретными или ритмическими (подробно этот вопрос разбирается в Hogan, Sternad, 2012 и Hogan, Sternad, 2007). Дискретное движение начинается из состояния покоя и заканчивается им же. К простым дискретным движениям обычно относят однокоординатные движения (сгибание или разгибание руки в локтевом или луче-запястном суставе). Ритмические движения образуются за счет циклического повторения некоторого фрагмента. При этом смежные повторы этого фрагмента не отделяются состоянием покоя (в противном случае возникло бы не ритмическое движение, а последовательность дискретных движений). К простым ритмическим движениям относят свободные или почти свободные периодические движения (осцилляции), такие как простой периодический таппинг (замыкания телеграфного ключа или барабанной дроби), вибраторы и движения, осуществляемые при быстрой штриховке. Простые движения характеризуются простой пространственной траекторией (например, прямолинейной или эллиптической) и незначительным числом задействованных механических степеней свободы.

Многочисленные эксперименты показали, что в условиях минимальных требований к пространственной точности средние по популяции величины длительности наиболее быстрого изолированного (дискретного) движения и периода (длительность одного цикла) простых ритмических движений, выполняемых в максимально быстром темпе, являются устойчивыми близкими к друг другу величинами, отличаясь друг от друга не более, чем на несколько десятков миллисекунд. Так, длительность наиболее быстрого изотонического дискретного движения составляет 152 мс (Freund, Büdingen, 1978). При выполнении простого периодического таппинга за счет подвижности в лучезапястном суставе длительность одного движения составляет 166 мс, а при выполнении таппинга указательным пальцем ведущей руки — 176 мс (Jackson, 1953). Близкие значения длительности интервала в таппинге получены и в других работах: 150 мс (Курганский, Подлепа, 1998) и 169 мс (McAuley et al., 2006). Длительность одного цикла максимально быстрых однокоординатных осцилляций составляет 167 мс (Heuer, Schulna, 2002); по другим данным выполнение в максимальном темпе цикла реципрокного движения вдоль прямой и период циклического рисования окружности занимают приблизительно 190 мс (Dounskaia et al., 2000).

Отметим, что законы механики как таковые не налагают непосредственных ограничений на максимальный темп циклических движений. В линейном приближении, справедливом при малых амплитудах движений, частота колебательных движений эффектора определяется исключительно частотой вынуждающей силы, которая зависит от темпа поступления моторных команд. Инерционные свойства движущейся конечности приводят к тому, что она действует как фильтр низких частот, и амплитуда циклического движения уменьшается с ростом частоты колебаний (Freund, 1986). Тем самым биомеханика все же может косвенно ограничить темп движений: осцилляции значительной амплитуды не могут быть выполнены

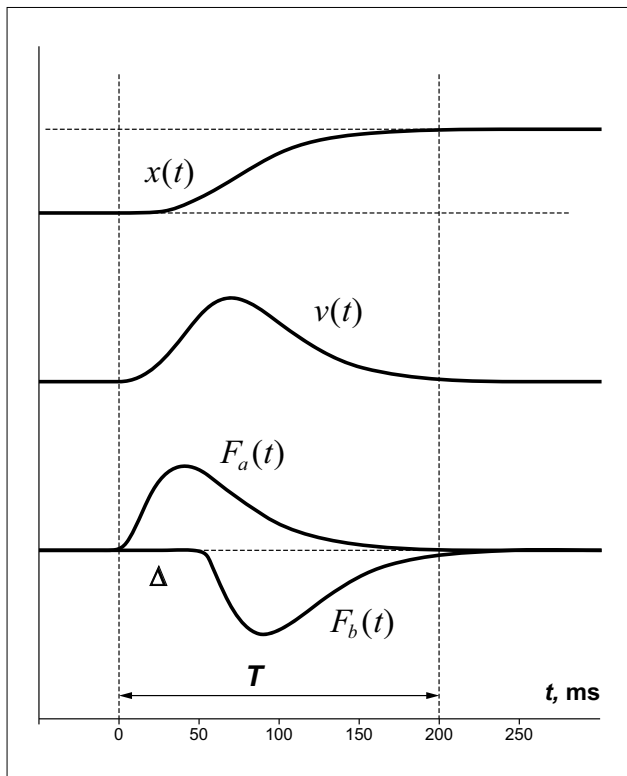


Рисунок 1. Временная структура быстрого однокоординатного движения заданной амплитуды. Схематически изображены ускоряющий $F_a(t)$ и задержанный относительно него на время Δ тормозящий $F_b(t)$ импульсы усилия (внизу), соответствующий им профиль мгновенной скорости $v(t)$ (в середине) и закон движения $x(t)$ (вверху).

со столь же высокой частотой, как и осцилляции малой амплитуды. Отметим, что здесь мы сталкиваемся с компенсаторным фактором: максимальный темп выполнения движения определяется не длительностью некоторого процесса, а необходимостью поддержания заданной амплитуды движения.

Основным периферическим затратным фактором, определяющим нижний физиологический предел времени движения, является процесс генерации мышечного усилия. Наиболее существенной здесь является динамика одиночного сокращения (twitch) двигательной единицы (ДЕ, motor unit), развиваемого в ответ на один спайк мотонейрона. Длительность одиночного сокращения определяется главным образом кальциевой кинетикой в отдельных мышечных волокнах. Она никак не контролируется нервной системой, то есть не может быть ни увеличена, ни уменьшена.

Действительно, минимальное время одиночного дискретного движения, а также частота различных осцилляторных движений тесно связаны с типичной длительностью одиночного сокращения. Так, рыбы-жабы (*Opsanus tau*) способны издавать звуки за счет быстрых (до 200 Гц) осциллирующих сокращений мышц, охватывающих плавательный пузырь, и столь высокая частота достигается за счет быстрого нервно-мышечного преобразования, при котором длительность одиночного сокращения составляет всего несколько миллисекунд (Rome, Lindstedt, 1998). Полет колибри также обеспечивается периодическим сокращением мышц (*pectoralis* и *supracoracoideus*) с высокой частотой за счет короткого единичного сокращения (12.5 мс) и короткой моторной

команды (всего один спайк мотонейрона) (Tobalske et al., 2010). В то же время длительность одиночных сокращений в мышцах рук человека гораздо больше. Например, для мышц кисти руки эти длительности лежат в диапазоне от 100 до 470 мс (Milner-Brown et al., 1973; Thomas et al., 1990; McNulty et al., 2000). Соответственно, дискретные и ритмические движения рук оказываются существенно менее быстрыми, чем в приведенных выше примерах.

Наиболее быстрые дискретные и циклические движения характеризуются также и максимально простой кинематической структурой. Действительно, наиболее быстрые дискретные движения характеризуются колоколообразным профилем мгновенной скорости (Morasso, 1981), то есть содержат всего одно субдвижение (рисунок 1). Быстрые циклические движения также не обнаруживают тонкой временной структуры, связываемой с наличием многих субдвижений, и приближаются к синусоидальным колебаниям (Guiard, 1993). В этом убеждают и электромиографические данные: в пределах одного цикла быстрого колебательного движения агонисты и антагонисты активируются всего один раз, развивая одну пару реципрокных усилий (Heuer, Schulna, 2002). Такая же картина характерна и для быстрого дискретного движения — с той разницей, что для дискретного движения характерна стабилизационная фаза, благодаря которой наблюдается характерный трехфазный профиль активации (Gielen et al., 1985).

Длительность изолированного дискретного движения определяется общей длительностью перекрывающихся во времени ускоряющего $F_a(t)$ и тормозящего $F_b(t)$ усилий, развиваемых в мышцах-синергистах (Nelson, 1983; Schmidt et al., 1979). Дискретное движение начинается с началом ускоряющего усилия и завершается по окончании тормозящего. Здесь принципиальное значение имеют как длительности импульсов $F_a(t)$ и $F_b(t)$, так и задержка Δ второго относительно первого (рисунок 1, нижний график). Минимальная длительность ускоряющего $F_a(t)$ и тормозящего $F_b(t)$ импульсов усилия определяется распределением длительностей единичных сокращений отдельных двигательных единиц (ДЕ) в мышцах, продолжительностью процесса рекрутирования ДЕ (Ulrich, Wing, 1991) и степенью синхронности процессов рекрутирования в мышцах-синергистах (d'Avella, Lacquaniti, 2013).

Процесс рекрутирования/дерекрутирования ДЕ, предполагающий определенный порядок, известный как "size principle" (Henneman, 1957), достаточно стереотипен и устойчив (Adam, De Luca, 2003) и, по-видимому, не может служить заметным резервом для сокращения длительности импульсного усилия. Хотя форма и длительность одиночного сокращения мышцы зависит от уровня постактивационной потенциации (Гурфинкель и др., 1988; 1999), в физиологически реалистичных условиях движения к пространственной цели и циклических движений эти параметры, по-видимому, достаточно стабильны.

Из рассмотренного выше следует, что сокращение длительности дискретного движения может быть достигнуто за счет сокращения длительности центральной команды (длительности цуга спайков мотонейрона), увеличения степени синхронности в работе

мышц-синергистов, а при минимальной длительности моторной команды и достижении полной синхронности — за счет сокращения задержки Δ тормозящего импульса $F_b(t)$ относительно $F_a(t)$ (Gielen et al., 1985).

При уменьшении задержки Δ возрастает степень перекрытия импульсов $F_a(t)$ и $F_b(t)$, и для сохранения заданной амплитуды движения в пространстве требуется компенсирующее увеличение амплитуды этих импульсов. Такая компенсация имеет свой физиологический предел и становится невозможной после вовлечения всех имеющихся ДЕ. Еще важнее то, что возрастание мышечного усилия сопровождается пропорциональным ростом его вариативности (Schmidt et al., 1979; Keele et al., 1987; Hamilton et al., 2004), что приводит к увеличению вероятности сбоя движения — такой ошибки, которая несовместима с двигательной целью (промах, недопустимое искажение траектории, мышечный спазм и т.п.). При этом вероятность сбоя быстро возрастает при уменьшении времени движения T , поэтому обеспечение успешного решения двигательной задачи при заданном допустимом уровне вероятности возникновения сбоя предполагает ограничение длительности движения. Ниже мы еще раз вернемся к этому вопросу при обсуждении закона Фиттса (Fitts, 1954).

2. Принципы формирования траектории и минимальное время движения

Одним из следствий наличия избыточного числа механических степеней свободы в двигательной системе (Bernstein, 1967) является проблема выбора актуальной траектории движения из множества потенциальных (Viviani, Flash, 1995). В этом разделе мы обсудим вопрос, какие ограничения на минимальную длительность движения налагают известные принципы формирования траектории движения.

Если движение рабочей точки (кончика пальца или пишущего кончика карандаша) происходит вдоль плоской криволинейной траектории, то оказывается, что время движения вдоль такой траектории существенно зависит от ее кривизны: чем больше кривизна, тем медленнее, при прочих равных, оказывается движение. Это соотношение описывается эмпирическим степенным законом с показателем $2/3$ (two-third power law; Lacquaniti et al., 1983; Viviani, Flash, 1995), который обычно рассматривается как один из кинематических инвариантов (Dounskaia, 2007). Рядом исследователей степенной закон рассматривается как принцип формирования (выбора) траектории движения, используемый центральными отделами двигательной системы (Viviani, Flash, 1995; Polyakov et al., 2009). Можно было бы ожидать, что степенной закон отражает ограничения на минимальное время движения, налагаемые центральными процессами формирования траектории.

Остановимся на этом подробнее. Пусть в момент времени t рабочая точка движется со скоростью $V(t)$ вдоль криволинейной плоской траектории (например, в процессе рисования или письма), кривизна которой равна $C(t) = R^{-1}(t)$, где $R(t)$ обозначает радиус кривизны.

Степенной закон с показателем $2/3$, который для простоты будем называть степенным законом, выражается двумя эквивалентными формулами:

$$V(t) = GC(t)^{2/3} \quad (1)$$

или

$$V(t) = GR(t)^{1/3}, \quad (2)$$

где G — коэффициент пропорциональности.

Выражения (1) и (2) утверждают, что по мере увеличения кривизны $C(t)$ траектории (уменьшения радиуса ее кривизны $R(t) = C(t)^{-1}$) скорость движения вдоль нее уменьшается. Соответственно, движение вдоль траектории, на которой встречаются участки с достаточно большой кривизной (малым радиусом кривизны), потребует большего времени, чем движение вдоль прямолинейной траектории такой же длины.

Можно ли найти минимальную длительность движения, используя степенной закон? Нет, нельзя. Для того чтобы это показать, достаточно рассмотреть частный случай движения вдоль траектории постоянной кривизны, то есть окружности радиуса R_0 .

Из формулы (2) следует, что такое движение будет протекать с постоянной скоростью $V_0 = GR_0^{1/3}$. Его период T легко найти как отношение длины окружности $2\pi R_0$ к скорости движения V_0 :

$$T = 2\pi R_0 / V_0 = 2\pi R_0 / GR_0^{1/3}. \quad (3)$$

Подставляя в (3) зависимость $V_0 = GR_0^{1/3}$, окончательно получаем:

$$T = \frac{1}{G} \frac{2\pi R_0}{R_0^{1/3}} = \frac{2\pi}{G} R_0^{2/3}. \quad (4)$$

Если считать G универсальной константой, то из выражения (4) следует, что, во-первых, при заданном радиусе R_0 время движения T фиксировано (окружность заданного радиуса можно нарисовать только единственным способом — за время, заданное формулой 4) и, во-вторых, его можно сделать сколь угодно малым, устремляя к нулю радиус окружности, — выводы, которые вряд ли можно признать реалистическими. Если рассматривать G как величину, зависящую от длины траектории (Viviani, Flash, 1995), то степенной закон теряет свою предсказательную силу и может быть использован лишь для аппроксимации эмпирических данных при соответствующем выборе параметров. Если же, следуя логике Н. Дунской (Dounskaia, 2007), считать коэффициент G пропорциональным частоте циклических движений (см. выражение 10 в цитированной работе), то есть $G = K/T$, то время T вообще выбывает из соотношения (4). Таким образом, степенной закон как таковой не помогает нам определить минимальное время движения.

Вообще, могут ли существующие теоретические подходы к управлению движениями и модели формирования траектории пролить свет на природу минимально возможной длительности движения? Как отмечается в работе Х. Танаки и соавторов (Tanaka et al., 2006), в подавляющем большинстве теоретических моделей управления движениями и формирования траекторий время движения рассматривается как внешний, предписываемый параметр. Так дело обстоит в тео-

рии моторных программ (Morasso, Mussa-Ivaldi, 1982; Rosenbaum et al., 1983; Schmidt, 1975; Schmidt, 2003), в теории равновесной точки (Levin et al., 1992; Feldman, 2011), в рамках представлений о внутренних моделях (Kawato, 1999), в теории динамических систем (Haken et al., 1985; Kelso, 2010), а также в большинстве моделей, основанных на принципах оптимального управления (Harris, Wolpert, 1998; Diedrichsen et al., 2010).

Интересно, что одни из наиболее популярных среди основанных на принципах оптимального управления моделей — модели минимального рывка (minimum jerk model; Flash, Hogan, 1985; Todorov, Jordan, 1998), рассматривая длительность движения как задаваемый параметр, тем не менее предсказывают вполне определенную функциональную связь между пространственным размахом и временем движения. Покажем это для случая простого прямолинейного движения. Действительно, в случае однокоординатного движения принцип минимизации среднего рывка дает (Viviani, Flash, 1995; Engelbrecht, 2001) следующее значение минимума этой величины:

$$J_{min} = 60D^2T^{-5} \left(6 - 2A_0T^2/D + A_0^2T^4/5D^2 \right), \quad (5)$$

где D соответствует амплитуде движения, T задает время движения, а A_0 обозначает начальное ускорение. Для дискретного движения $A_0=0$, и поэтому выражение (5) упрощается до $J_{min} = 360D^2T^{-5}$. Отсюда следует, что время движения пропорционально его амплитуде, возведенной в степень $2/5$: $T = Q_{disc}D^{2/5}$, где Q_{disc} — постоянный коэффициент. Аналогично при быстрых реципрокных движениях, близких к синусоидальным, максимум ускорения достигается в момент максимального смещения. В этом случае минимум величины J в (5) достигается при $A_0 = 5D/T^2$, что дает $J_{min} = 60D^2T^{-5}$. Отсюда следует, что длительность цикла осцилляторного движения, как и в случае длительности дискретного движения, прямо пропорциональна амплитуде этого движения, возведенной в степень $2/5$: $T = Q_{cont}D^{2/5}$ с коэффициентом пропорциональности Q_{cont} .

Однозначная связь $T \sim D^{2/5}$ между временем движения и его амплитудой означает, что (так же, как и в формуле (4)) время движения формально можно сделать сколь угодно малым, уменьшая его пространственный размах. Так же, как и в рассмотренном выше примере подчиняющегося степенному закону движения по окружности, здесь необходимо ввести нижний предел для времени движения, исходя из посторонних для модели соображений.

3. Минимальное время и пространственная точность движения. Закон Фиттса

Широко представленное в литературе направление исследований, имеющее самое непосредственное отношение к вопросу о максимальном темпе, — это исследование природы реципрокного соотношения между скоростью выполнения движения и требуемой пространственной точностью (speed-accuracy tradeoff). Простейшей двига-

тельной задачей, в которой наблюдается такое соотношение, является задача Фиттса. Эта задача состоит в том, чтобы как можно быстрее выполнить движение заданной пространственной протяженности при условии, что рабочая точка в конце этого движения должна совпасть с пространственной целью определенного размера. Обычно испытуемые перемещают перо между двумя одинаковыми полосками шириной W , разнесенными на расстояние D друг от друга. Количественно связь между требуемой точностью движения и временем его выполнения характеризуется законом Фиттса (Fitts, 1954; Schmidt et al., 1979; Meyer et al., 1988; Smits-Engelsman et al., 2002), который мы приведем здесь в его оригинальной форме:

$$T = T_0 + B \log_2 \left(\frac{2D}{W} \right). \quad (6)$$

Здесь длительность T_0 обозначает физиологический предел для времени простого «свободного» движения, пространственная точность которого никак не ограничена. Эта величина входит в выражение (6) аддитивно и, так же как и коэффициент B , является эмпирическим параметром. Требование к точности движения задается величиной $ID = \log_2 \left(\frac{2D}{W} \right)$, получившей название «показателя трудности» (index of difficulty). Показатель трудности ID тем больше, чем больше размах движения D и чем меньше размер цели W , в которую требуется попасть.

Это эмпирически найденное соотношение позволяет предсказать время движения для широкого, но все же весьма ограниченного класса дискретных прямолинейных движений, для которого явным образом заданы ограничения на пространственную точность начального и конечного положений. Проблемы возникают уже при рассмотрении криволинейных движений в плоскости, таких как при письме. В этом случае совсем не очевидно, что именно следует считать «амплитудой» D и «шириной цели» W .

Отметим, что соотношение (6) не связано с длительностью какого-либо физиологического процесса или временем, затрачиваемым на обработку информации, а отражает тот факт, что при возрастании требования к пространственной точности движения приходится целенаправленно снижать его скорость, чтобы соблюсти требуемый уровень точности. Таким образом, минимальное время движения здесь связано с действием компенсаторного фактора: требуемая пространственная точность движения достигается увеличением времени его выполнения.

Хотелось бы обратить внимание на то, что ограничения на минимальную длительность движения возникают тогда, когда явным образом учитывается вариативность движения. Соответственно, практически все попытки вывести эмпирический закон Фиттса из более общих принципов строятся, исходя из предположения о наличии шума в системе (Meyer et al., 1988; Plamondon, Alimi, 1997; Harris, Wolpert, 1998; Tanaka et al., 2006; Qian et al., 2013). Исключением из этого правила является попытка рассматривать движение как эволюцию во времени состояния динамической системы и связать минимальную длительность движения

с тем, что эта система теряет устойчивость. Так, Александров и соавторы (Александров и др., 2013), исследуя динамическую систему, описывающую «естественные синергии» движений корпуса человека при учете транспортной задержки в контуре управления, показали, что при частоте циклических движений системы выше определенной система полностью теряет устойчивость, что приводит к невозможности выполнить запланированное движение. В этом случае ограничение на длительность движения не связано с источником вариативности, а определяется структурой всей динамической системы как целого. Хотя и в этом случае внутренние шумы системы должны приводить к возрастающей вариативности системы уже при достаточном приближении к границам устойчивости.

4. Выполнение двигательных последовательностей в максимальном темпе и затраты времени на центральные процессы

Простые изолированные движения вдоль прямолинейной или криволинейной траектории составляют относительно скромную долю двигательного репертуара человека, в то время как большая его часть состоит из последовательностей движений различной сложности. Естественно, в отношении отдельных элементов последовательности по-прежнему действуют отмеченные выше факторы — затратный и компенсаторный. Однако объединение движений в последовательность приводит к тому, что на время их выполнения начинают влиять дополнительные факторы, связанные со структурой последовательности как целого. Например, известно, что время выполнения движения-элемента в составе последовательности зависит от длины этой последовательности (Sternberg et al., 1978; Rhodes et al., 2004), от характера чередования движений, выполняемых разными эффекторами (Rosenbaum et al., 1983), от необходимости координировать во времени движения разных эффекторов и от характера такой координации (Peper et al., 1995).

В подавляющем большинстве экспериментальных исследований выполнение двигательных последовательностей в максимально быстром темпе выступает прежде всего как экспериментальное условие, позволяющее за счет варьирования состава и способа координации элементов последовательности получить важную информацию о структуре ее внутренней репрезентации и о характере когнитивных процессов, как происходящих непосредственно во время выполнения последовательности, так и предшествующих ему. Соответственно, рассматриваемые в литературе центральные факторы, влияющие на общий темп выполнения последовательности, и временное расписание ее элементов являются затратными факторами. Иными словами, общее снижение темпа выполнения последовательности или увеличение времени выполнения отдельных ее элементов связывают с затратами времени на центральные процессы. Например, в качестве процессов, определяющих длительность движений,

рассматривались поиск и извлечение подпрограмм (Sternberg et al., 1978), передача управления очередному узлу в древовидной структуре моторной программы (Rosenbaum et al., 1983), конкуренция одновременно активированных узлов в модели CQ (Bullock, 2004). Рассмотрение того, что мы назвали затратными факторами, определяющими временную структуру двигательных последовательностей, выходит за рамки настоящей работы. Этим вопросам посвящена обширная литература, и подробное их обсуждение можно найти, например, в обзоре Б. Дж. Родса и соавторов (Rhodes et al., 2004), а также в работе В. Б. Верви и соавторов (Verwey et al., 2015).

Ниже мы постараемся показать, что помимо отмеченных затратных факторов, максимально быстрый темп выполнения последовательности движений определяется также и компенсаторным фактором, то есть необходимостью целенаправленно регулировать длительность движений для удержания в определенных пределах других параметров последовательности. В этом смысле двигательные последовательности не отличаются от простых движений: и там и там действуют как затратные, так и компенсаторные факторы.

5. Управление длительностью движения как способ обеспечить одинаковый уровень успешности выполнения двигательных последовательностей разной длины

Увеличение вариативности движения (в частности, снижение пространственной точности) при сокращении его длительности означает возрастание вероятности совершить ошибку и не достичь двигательной цели. Так, при решении задачи Фитса испытуемый может не попасть пером в площадку шириной W , а попытка войти в электронную почту может окончиться неудачей из-за того, что была нажата не та клавиша при вводе пароля.

Если движения образуют последовательность, и увеличение темпа выполнения этой последовательности достигается за счет сокращения длительности составляющих ее движений (а не пауз между ними), то чем выше темп, тем больше вероятность допустить ошибку при выполнении каждого из движений. Между тем существует немало ситуаций, когда допущение хотя бы одной ошибки лишает смысла всю последовательность действий (исполнение музыкального произведения, набор телефонного номера и проч.). Поэтому требуется поддерживать вероятность совершения ошибки на достаточно низком уровне, причем это требование в одинаковой степени относится как к коротким, так и к длинным последовательностям.

Рассмотрим, как необходимость поддержания на низком уровне вероятности совершить ошибку скажется на темпе выполнения последовательностей разной длины. Для этого обратимся к простейшему примеру последовательности, состоящей из N одинаковых дискретных движений. Предположим, что вероятность ошибки

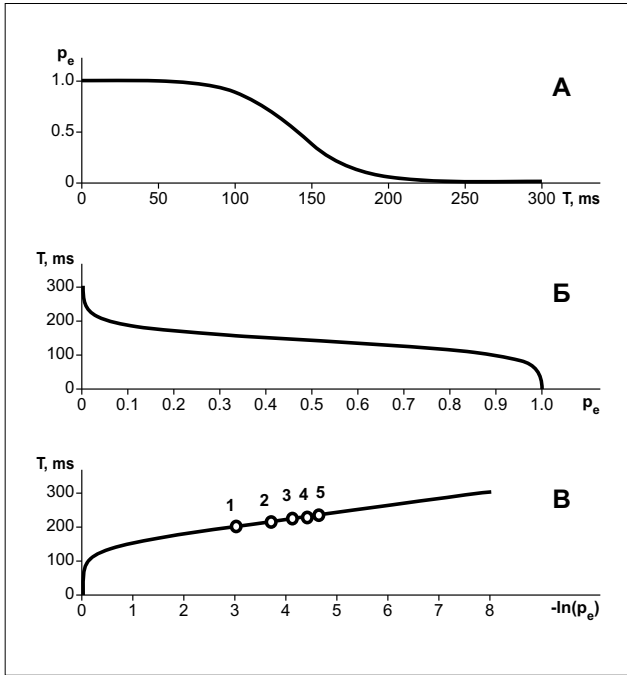


Рисунок 2. Длительность одного элемента последовательности T зависит от ее длины N . **А** – зависимость вероятности ошибки p_e от длительности движения T (в мс); **Б** – зависимость длительности движения T (в мс) от вероятности p_e ; **В** – зависимость длительности движения T от логарифма

$$\frac{1}{p_e},$$

то есть величины, обратной вероятности p_e . Кругами отмечены значения на графике, соответствующие постоянной величине P_1 возникновения хотя бы одного сбоя, что соответствует вероятности

$$p_e = \frac{\alpha}{N}$$

для последовательностей, содержащих разное число одинаковых элементов $N = 1, 2, \dots, 5$ при одном и том же $\alpha = .05$. Зависимости **Б** и **В** получены из кривой **А**, которая рассчитана по формуле

$$p_e = \frac{1}{1 + e^{g(T-T_0)}}$$

с параметрами $g = 0.05$ и $T_0 = 140$.

не должна превышать α . Обозначим символом p_e вероятность сбоя при выполнении одного элемента.

Ясно, что условие практически успешного выполнения одного элемента есть $p_e \leq \alpha$. Удержание вероятности сбоя на уровне α для всей последовательности как целого предполагает, что вероятность P_1 хотя бы одного сбоя в ней не превосходит α . Вероятность P_1 легко вычислить в предположении статистической независимости возникновения сбоев при выполнении отдельных элементов. Действительно, вероятность того, что сбой не возникнет ни в одном из N элементов есть $(1-p_e)^N$, а вероятность противоположного события — наличия хотя бы одного сбоя — составит $P_1 = 1 - (1-p_e)^N$. При малых значениях p_e справедливо приближенное соотношение $P_1 = Np_e$. Следовательно, поддержание вероятности P_1 на заданном критическом уровне α требует, чтобы при возрастании N вероятность сбоя p_e уменьшалась в обратной пропорции к N и составляла $p_e = \alpha/N$.

Нетрудно убедиться, что если вероятность сбоя p_e монотонно возрастает по мере уменьшения длительности T элемента последовательности (а это именно так в случае периферического источника ошибок, рассмотренного в разделе 1), то из соотношения $p_e = \alpha/N$ следует, что с ростом числа элементов N поддерживать вероятность сбоя на уровне α для всей последовательности можно только за счет увеличения N . Подчеркнем, что точный вид функциональной зависимости $p_e(T)$ знать не обязательно. Достаточно предположить, что при заданной амплитуде движения вероятность p_e является монотонно убывающей функцией времени движения $p_e = h(T)$, например такой, как на рисунке 2А. В этом случае время T монотонно убывает по мере возрастания вероятности от 0 до 1 (рисунок 2Б) и, следовательно, монотонно возрастает с ростом обратной

величины $\frac{1}{p_e}$ (рисунок 2В). Поскольку из $p_e = \alpha/N$ следу-

ет $\frac{1}{p_e} = \frac{N}{\alpha}$, время движения монотонно возрастает с ро-

стом N . Это хорошо видно из графика зависимости T

от $\frac{1}{p_e}$ (рисунок 2В), на котором отмечены значения

$\frac{1}{p_e} = \frac{N}{\alpha}$ длин последовательностей $N = 1, 2, \dots, 5$.

Таким образом, снижение темпа выполнения последовательности при возрастании ее длины — хорошо известный эффект, обычно объясняемый возрастанием длительности когнитивных процессов (Rhodes et al., 2004; Abrahamse et al., 2013; Verwey et al., 2015), — может возникать в силу совершенно иной причины — необходимости поддержания на заданном уровне вероятности возникновения ошибки.

6. Заключительные замечания

Рассмотренный в предыдущей секции эффект снижения темпа выполнения последовательности движений при возрастании ее длины связан исключительно с необходимостью обеспечить определенную вероятность ее безошибочного выполнения, причем единственный способ добиться этого заключается в увеличении времени выполнения движений-элементов. Хотелось бы подчеркнуть следующее. При выполнении изолированного простого движения вероятность сбоя определяется свойствами центральных и периферических процессов, обеспечивающих выполнение этого движения. Причина возрастания вероятности сбоя при увеличении длины последовательности, вызывающая потребность в компенсаторном увеличении длительности движений, имеет совсем другую природу. Она не связана с какими-либо процессами в ЦНС и вообще не имеет отношения к предмету когнитивной науки.

Эта причина заключается в том, что вероятность допустить хотя бы одну ошибку при агрегации движений (вообще процессов произвольной природы) в единую последовательность возрастает при увеличении числа движений (числа этих процессов). Описываемая ситуация полностью аналогична хорошо известному в статистике явлению возрастания ошибки I-го рода при множественных сравнениях, а рассмотренный нами механизм компенсации такого возрастания — поправке Бонферрони.

Поскольку в основе компенсаторного фактора лежит поддержание вероятности успешного выполнения последовательности на заданном уровне, возникает вопрос, с помощью какого процесса ЦНС «измеряет» вероятность. Очевидным кандидатом является процесс научения, в ходе которого оценивается, насколько успешными оказываются многочисленные попытки решения двигательной задачи. Во всяком случае, оценка вероятности и основанный на ней прогноз играет заметную роль и при планировании, и при выполнении движений в условиях неопределенности (Bays, Wolpert, 2007).

В разделе 5 был рассмотрен простейший случай двигательной последовательности, состоящей из одинаковых элементарных движений, причем сложность этой последовательности определялась единственным параметром — числом элементов. В более реалистическом случае последовательности содержат неодинаковые элементы (движения разных эффекторов, движения, требующие разной пространственной точности, движения, требующие и не требующие синхронизации с внешними сенсорными событиями), различающиеся между собой в отношении вида функции $p_e = h(T)$, то есть зависимости вероятности ошибочного выполнения от длительности движения. Примерами выполнения таких неоднородных сложных последовательностей являются рисование, исполнение музыкального произведения и вязание спицами. Поддержание определенного уровня вероятности безошибочного выполнения такой последовательности может потребовать отдельной и неодинаковой регуляции длительности отдельных ее элементов. В свою очередь, это может привести к тому, что длительности движений-элементов в составе выполняемой в максимальном темпе последовательности будут зависеть от структуры этой последовательности и могут отличаться от минимальной длительности тех же движений, выполненных изолированно.

Следует отметить, что особенность процесса порождения мышечного усилия на периферии двигательной системы (см. секцию 1) не является единственной причиной компенсаторного снижения темпа выполнения двигательной последовательности. Аналогичного снижения темпа следует ожидать всякий раз, когда уменьшение времени выполнения элементов последовательности сопровождается возрастанием вероятности допустить ошибку, вне зависимости от того, является ли источником ошибки двигательная периферия или когнитивные процессы. Вероятно, «компенсаторное» ограничение максимального темпа выполнения последовательности при возрастании ее длины можно рассматривать как частный случай реципрокного соотношения между скоростью и точностью (speed-accuracy trade-off,

SAT) — чрезвычайно общей закономерности, справедливой не только для простых движений, но также и для когнитивных процессов (Wickelgren, 1977; Heitz, 2014).

В связи с наличием нескольких факторов, определяющих максимальный темп выполнения двигательных последовательностей, возникает неопределенность при интерпретации экспериментальных данных. Всякий раз необходимо решить, в какой мере каждый из факторов — затратный и компенсаторный — определяет временную структуру двигательной последовательности. Учет компенсаторного фактора может оказаться существенным во всех случаях, когда сравниваются группы испытуемых, характеризующихся не только предполагаемым различием организации управления движениями, но и различной вариативностью («шумностью»), как это имеет место в возрастных исследованиях и при сравнении групп неврологических пациентов с контрольными группами.

Литература

- Александров А. В., Мергнер Т., Фролов А. А., Хеттик Г., Муравьев И. П. Устойчивое управление позой и движениями стоящего гуманоида по принципу естественных синергий у человека // Российский журнал биомеханики. 2013. Т. 17. №1. С. 94–109.
- Гурфинкель В. С., Иваненко Ю., Левик Ю. Соотношение сила-жесткость скелетной мышцы зависит от уровня активации сократительного аппарата и предистории сокращения // Физиология человека. 1999. Т. 25. №3. С. 95–101.
- Гурфинкель В. С., Левик Ю. С., Поляков А. В. Изменения механических параметров одиночного сокращения скелетной мышцы человека при различных режимах активации // Физиология человека. 1988. Т. 14. №6. С. 1001–1007.
- Курганский А. В., Подлена А. Зависимость временных характеристик ритмических движений от их структурной сложности // Вестник Московского университета. Сер. 14. Психология. 1998. №3. С. 16–28.
- d'Avella A., Lacquaniti F. Control of reaching movements by muscle synergy combinations // *Frontiers in Computational Neuroscience*. 2013. Vol. 7. P. 42: 1–7. doi:10.3389/fncom.2013.00042
- Abrahamse E. L., Ruitenberg M. F. L., De Kleine E., Verwey W. B. Control of automated behavior: Insights from the discrete sequence production task // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2013. Vol. 7. No. 82. P. 1–16. doi:10.3389/fnhum.2013.00082
- Adam A., De Luca C. J. Recruitment order of motor units in human vastus lateralis muscle is maintained during fatiguing contractions // *Journal of Neurophysiology*. 2003. Vol. 90. No. 5. P. 2919–2927. doi:10.1152/jn.00179.2003
- Bays P. M., Wolpert D. M. Computational principles of sensorimotor control that minimize uncertainty and variability // *The Journal of Physiology*. 2007. Vol. 578. No. 2. P. 387–396. doi:10.1113/jphysiol.2006.120121
- Bernstein N. A. The co-ordination and regulation of movements. Oxford: Pergamon Press, 1967.
- Bullock D. Adaptive neural models of queuing and timing in fluent action // *Trends in Cognitive Sciences*. 2004. Vol. 8. No. 9. P. 426–433. doi:10.1016/j.tics.2004.07.003
- Diedrichsen J., Shadmehr R., Ivry R. B. The coordination of movement: Optimal feedback control and beyond // *Trends in Cognitive Sciences*. 2010. Vol. 14. No. 1. P. 31–39. doi:10.1016/j.tics.2009.11.004
- Dounskaia N. Kinematic invariants during cyclical arm movements // *Biological Cybernetics*. 2007. Vol. 96. No. 2. P. 147–163. doi:10.1007/s00422-006-0109-1
- Dounskaia N., Van Gemmert A. W. A., Stelmach G. E. Inter-joint coordination during handwriting-like movements //

Experimental Brain Research. 2000. Vol. 135. No. 1. P. 127 – 140. doi:10.1007/s002210000495

Engelbrecht S. E. Minimum principles in motor control // Journal of Mathematical Psychology. 2001. Vol. 45. No. 3. P. 497 – 542. doi:10.1006/jmps.2000.1295

Feldman A. G. Space and time in the context of equilibrium-point theory // Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science. 2011. Vol. 2. No. 3. P. 287 – 304. doi:10.1002/wcs.108

Fitts P. M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement // Journal of Experimental Psychology. 1954. Vol. 47. No. 6. P. 381 – 391. doi:10.1037/h0055392

Flash T., Hogan N. The coordination of arm movements: An experimentally confirmed mathematical model // Journal of Neuroscience. 1985. Vol. 5. No. 7. P. 1688 – 1703.

Freund H.-J. Time control of hand movements // The oculomotor and skeletal-motor systems. Progress in brain research. Vol. 64 / H. J. Freund, U. Büttner, B. Cohen, J. Noth (Eds.). Elsevier, 1986. P. 287 – 294. doi:10.1016/s0079-6123(08)63423-8

Freund H.-J., Büdingen H. J. The relationship between speed and amplitude of the fastest voluntary contractions of human arm muscles // Experimental Brain Research. 1978. Vol. 31. No. 1. P. 1 – 12. doi:10.1007/bf00235800

Gielen C. C., Van den Oosten K., Pull ter Gunne F. Relation between EMG activation patterns and kinematic properties of aimed arm movements // Journal of Motor Behavior. 1985. Vol. 17. No. 4. P. 421 – 442. doi:10.1080/00222895.1985.10735359

Guiard Y. On Fitts's and Hooke's laws: Simple harmonic movement in upper-limb cyclical aiming // Acta Psychologica. 1993. Vol. 82. No. 1. P. 139 – 159. doi:10.1016/0001-6918(93)90009-g

Haken H., Kelso J. S., Bunz H. A theoretical model of phase transitions in human hand movements // Biological Cybernetics. 1985. Vol. 51. No. 5. P. 347 – 356. doi:10.1007/bf00336922

Hamilton A. F., Jones K. E., Wolpert D. M. The scaling of motor noise with muscle strength and motor unit number in humans // Experimental Brain Research. 2004. Vol. 157. No. 4. P. 417 – 430. doi:10.1007/s00221-004-1856-7

Harris C. M., Wolpert D. M. Signal-dependent noise determines motor planning // Nature. 1998. Vol. 394. No. 6695. P. 780 – 784.

Heitz R. P. The speed-accuracy tradeoff: History, physiology, methodology, and behavior // Frontiers in Neuroscience. 2014. Vol. 8. P. 150: 1 – 19. doi:10.3389/fnins.2014.00150

Henneman E. Relation between size of neurons and their susceptibility to discharge // Science. 1957. Vol. 126. No. 3287. P. 1345 – 1347. doi:10.1126/science.126.3287.1345

Heuer H., Schulna R. Phasing of muscle activity during rapid finger oscillations // Journal of Motor Behavior. 2002. Vol. 34. No. 3. P. 277 – 289. doi:10.1080/00222890209601946

Hogan N., Sternad D. On rhythmic and discrete movements: reflections, definitions and implications for motor control // Experimental Brain Research. 2007. Vol. 181. No. 1. P. 13 – 30.

Hogan N., Sternad D. Dynamic primitives of motor behavior // Biological Cybernetics. 2012. Vol. 106. No. 11 – 12. P. 727 – 739. doi:10.1007/s00422-012-0527-1

Jackson C. V. Differential finger tapping rates // The Journal of Physiology. 1953. Vol. 122. No. 3. P. 582 – 587. doi:10.1113/jphysiol.1953.sp005022

Kawato M. Internal models for motor control and trajectory planning // Current Opinion in Neurobiology. 1999. Vol. 9. No. 6. P. 718 – 727. doi:10.1016/s0959-4388(99)00028-8

Keele S. W., Ivry R. I., Pokorny R. A. Force control and its relation to timing // Journal of Motor Behavior. 1987. Vol. 19. No. 1. P. 96 – 114. doi:10.1080/00222895.1987.10735402

Kelso S. Instabilities and phase transitions in human brain and behavior // Frontiers in Human Neuroscience. 2010. Vol. 4. P. 23: 1 – 2. doi:10.3389/fnhum.2010.00023

Lacquaniti F., Terzuolo C., Viviani P. The law relating the kinematic and figural aspects of drawing movements // Acta Psychologica. 1983. Vol. 54. No. 1. P. 115 – 130. doi:10.1016/0001-6918(83)90027-6

Levin M. F., Feldman A. G., Milner T. E., Lamarre Y. Reciprocal and coactivation commands for fast wrist movements // Experimental Brain Research. 1992. Vol. 89. No. 3. P. 669 – 677. doi:10.1007/bf00229891

McAuley J. D., Jones M. R., Holub S., Johnston H. M., Miller N. S. The time of our lives: life span development of timing and event tracking // Journal of Experimental Psychology: General. 2006. Vol. 135. No. 3. P. 348 – 367. doi:10.1037/0096-3445.135.3.348

McNulty P. A., Falland K. J., Macefield V. G. Comparison of contractile properties of single motor units in human intrinsic and extrinsic finger muscles // The Journal of Physiology. 2000. Vol. 526. No. 2. P. 445 – 456. doi:10.1111/j.1469-7793.2000.t01-2-00445.x

Meyer D. E., Abrams R. A., Kornblum S., Wright C. E., Keith Smith J. E. Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements // Psychological Review. 1988. Vol. 95. No. 3. P. 340 – 370. doi:10.1037//0033-295x.95.3.340

Milner-Brown H. S., Stein R. B., Yemm R. The orderly recruitment of human motor units during voluntary isometric contractions // The Journal of Physiology. 1973. Vol. 230. No. 2. P. 359 – 370. doi:10.1113/jphysiol.1973.sp010192

Morasso P. Spatial control of arm movements // Experimental Brain Research. 1981. Vol. 42. No. 2. P. 223 – 227. doi:10.1007/bf00236911

Morasso P., Mussa-Ivaldi F. A. Trajectory formation and handwriting: A computational model // Biological Cybernetics. 1982. Vol. 45. No. 2. P. 131 – 142. doi:10.1007/bf00335240

Nelson W. L. Physical principles for economies of skilled movements // Biological Cybernetics. 1983. Vol. 46. No. 2. P. 135 – 147. doi:10.1007/bf00339982

Peper C. E., Beek P. J., van Wieringen P. C. W. Multifrequency coordination in bimanual tapping: Asymmetrical coupling and signs of supercriticality // Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. 1995. Vol. 21. No. 5. P. 1117 – 1138. doi:10.1037//0096-1523.21.5.1117

Plamondon R., Alimi A. M. Speed/accuracy trade-offs in target-directed movements // Behavioral and Brain Sciences. 1997. Vol. 20. No. 02. P. 279 – 303. doi:10.1017/s0140525x97001441

Polyakov F., Stark E., Drori R., Abeles M., Flash T. Parabolic movement primitives and cortical states: Merging optimality with geometric invariance // Biological Cybernetics. 2009. Vol. 100. No. 2. P. 159 – 184. doi:10.1007/s00422-008-0287-0

Qian N., Jiang Y., Jiang Z.-P., Mazzoni P. Movement duration, Fitts's law, and an infinite-horizon optimal feedback control model for biological motor systems // Neural Computation. 2013. Vol. 25. No. 3. P. 697 – 724. doi:10.1162/neco_a_00410

Rhodes B. J., Bullock D., Verwey W. B., Averbach B. B., Page M. P. A. Learning and production of movement sequences: Behavioral, neurophysiological, and modeling perspectives // Human Movement Science. 2004. Vol. 23. No. 5. P. 699 – 746. doi:10.1016/j.humov.2004.10.008

Rome L. C., Lindstedt S. L. The quest for speed: Muscles built for high-frequency contractions // Physiology. 1998. Vol. 13. No. 6. P. 261 – 268.

Rosenbaum D. A., Kenny S. B., Derr M. A. Hierarchical control of rapid movement sequences // Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. 1983. Vol. 9. No. 1. P. 86 – 102. doi:10.1037//0096-1523.9.1.86

Schmidt R. A. A schema theory of discrete motor skill learning // Psychological Review. 1975. Vol. 82. No. 4. P. 225 – 260. doi:10.1037/h0076770

Schmidt R. A. Motor schema theory after 27 years: Reflections and implications for a new theory // Research Quarterly for Exercise and Sport. 2003. Vol. 74. No. 4. P. 366 – 375. doi:10.1080/02701367.2003.10609106

Schmidt R. A., Zelaznik H., Hawkins B., Frank J. S., Quinn Jr J. T. Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts // Psychological Review. 1979. Vol. 86. No. 5. P. 415 – 451. doi:10.1037//0033-295x.86.5.415

Smits-Engelsman B. C. M., Van Galen G. P., Duysens J. The breakdown of Fitts' law in rapid, reciprocal aiming movements // Experimental Brain Research. 2002. Vol. 145. No. 2. P. 222 – 230. doi:10.1007/s00221-002-1115-8

Sternberg S., Monsell S., Knoll R. L., Wright C. E. The latency and duration of rapid movement sequences: Comparisons of speech and typewriting // Information processing in motor control and learning / G. E. Stelmach (Ed.). New York: Academic Press, 1978. P. 117 – 152. doi:10.1016/b978-0-12-665960-3.50011-6

Tanaka H., Krakauer J. W., Qian N. An optimization principle for determining movement duration // *Journal of Neurophysiology*. 2006. Vol. 95. No. 6. P. 3875–3886. [doi:10.1152/jn.00751.2005](https://doi.org/10.1152/jn.00751.2005)

Thomas C. K., Bigland-Ritchie B., Westling G., Johansson R. S. A comparison of human thenar motor-unit properties studied by intraneural motor-axon stimulation and spike-triggered averaging // *Journal of Neurophysiology*. 1990. Vol. 64. No. 4. P. 1347–1351.

Tobalske B. W., Biewener A. A., Warrick D. R., Hedrick T. L., Powers D. R. Effects of flight speed upon muscle activity in hummingbirds // *Journal of Experimental Biology*. 2010. Vol. 213. No. 14. P. 2515–2523.

Todorov E., Jordan M. I. Smoothness maximization along a predefined path accurately predicts the speed profiles of complex arm movements // *Journal of Neurophysiology*. 1998. Vol. 80. No. 2. P. 696–714.

Ulrich R., Wing A. M. A recruitment theory of force-time relations in the production of brief force pulses: The parallel

force unit model // *Psychological Review*. 1991. Vol. 98. No. 2. P. 268–294. [doi:10.1037//0033-295x.98.2.268](https://doi.org/10.1037//0033-295x.98.2.268)

Verwey W. B., Shea C. H., Wright D. L. A cognitive framework for explaining serial processing and sequence execution strategies // *Psychonomic Bulletin Review*. 2015. Vol. 22. No. 1. P. 54–77. [doi:10.3758/s13423-014-0773-4](https://doi.org/10.3758/s13423-014-0773-4)

Viviani P., Flash T. Minimum-jerk, two-thirds power law, and isochrony: Converging approaches to movement planning // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1995. Vol. 21. No. 1. P. 32–53. [doi:10.1037//0096-1523.21.1.32](https://doi.org/10.1037//0096-1523.21.1.32)

Wallace S. A. An impulse-timing theory for reciprocal control of muscular activity in rapid, discrete movements // *Journal of Motor Behavior*. 1981. Vol. 13. No. 3. P. 144–160. [doi:10.1080/00222895.1981.10735245](https://doi.org/10.1080/00222895.1981.10735245)

Wickelgren W. A. Speed-accuracy tradeoff and information processing dynamics // *Acta Psychologica*. 1977. Vol. 41. No. 1. P. 67–85. [doi:10.1016/0001-6918\(77\)90012-9](https://doi.org/10.1016/0001-6918(77)90012-9)

теоретические сообщения

Установка и неосознаваемый семантический прайминг: разные термины или разные феномены?

Александра Яковлевна Койфман

Факультет психологии Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Аннотация. В статье предпринята попытка сопоставления установки, центрального феномена в исследованиях Д. Н. Узнадзе, и неосознаваемого семантического прайминга, одного из важных объектов и инструментов исследования в когнитивной науке. Приводится развернутое определение и описание видов / уровней установки и прайминга, а также кратко обсуждаются теория установки и модели неосознаваемого семантического прайминга. Выделяются особенности установки и прайминга как исследовательской процедуры, как эффекта, наблюдаемого в результате применения этой процедуры, и как состояния. Результаты сопоставления позволяют утверждать, что, несмотря на искушение рассматривать прайминг-эффект как разновидность установки, все же целесообразно выделять его в качестве отдельного экспериментального феномена, который может быть эффективно использован для разных исследовательских задач. Анализ представленных в литературе эмпирических исследований обнаруживает подверженность эффектов неосознаваемого семантического прайминга влиянию установок разного уровня. Делаются выводы о возможных перспективах взаимного обогащения теории установки и моделей семантического прайминга.

Контактная информация: Александра Яковлевна Койфман, skoyfman@gmail.com; 125009, Москва, ул. Моховая, д. 11, стр. 9, факультет психологии МГУ.

Ключевые слова: Д. Н. Узнадзе, установка, фиксированная установка, теория установки, прайминг, преднастройка, неосознаваемый семантический прайминг, подпороговый прайминг

© 2016 Александра Яковлевна Койфман. Данная статья доступна по лицензии [Creative Commons "Attribution" \(«Атрибуция»\) 4.0. всемирная](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), согласно которой возможно неограниченное распространение и воспроизведение этой статьи на любых носителях при условии указания автора и ссылки на исходную публикацию статьи в данном журнале в соответствии с канонами научного цитирования.

Статья поступила в редакцию 22 ноября 2016 г.

*“Why is a raven like a writing-desk?”
Lewis Carroll, Alice's adventures in Wonderland
«Чем ворона похожа на письменный стол?»
Л.Кэрролл, «Алиса в стране Чудес»*

Постановка проблемы

Нередким в науке является открытие сходных феноменов в рамках различных параллельно развивающихся школ или направлений¹. Каждый феномен получает описание и объяснение в традиции изучающей его

школы, а обсуждения, публикации и доклады на конференциях делают его доступным для внешнего круга исследователей. Именно публикации и доклады создают предпосылку для «встречи» школ и сопоставления открытий. Начинается работа по согласованию различных точек зрения, которая протекает по-разному в зависимости от близости исследовательских направлений, понимания открытых феноменов либо аспектов их изучения. Эта работа с необходимостью должна проходить на разных уровнях: с учетом теоретических основ, методологической традиции исследования и с опорой на феноменологию. Одним из ярких примеров независимых открытий в истории психологической науки является параллельное изучение мнемических эффектов, описанных П. И. Зинченко и позже, но независимо от него, Ф. Крэйком и Р. Локхартом. В отечественной

¹ «Открытие» в данном случае понимается в широком смысле: и как обнаружение чего-то ранее неизвестного, и как «открытие для науки», когда некоторый уже обнаруженный феномен оказывается в центре внимания ученых.

школе изучение этих феноменов проводилось с точки зрения деятельностного подхода к познавательным процессам, в зарубежной когнитивной психологии — с точки зрения теории уровней обработки информации (Мещеряков, 2009). И уже в XXI веке началась работа по сопоставлению результатов, призванная, по словам Крэйка и Локхарта, повысить «степень сонастроенности (alignment) российской теории деятельности и западной когнитивной психологии» (Крэйк, Локхарт, 2009, с. 14).

Принимаемое всеми требование «не умножать сущности без нужды», с одной стороны, создает академический запрос на соотнесение понятий, описывающих сходные феномены, отказ от ввода избыточных понятий. С другой стороны, предпочтение отдается понятиям, введенным в своей собственной научной традиции («у нас такое уже есть»), даже если их содержание, на первый взгляд, не имеет ничего общего с новым претендентом на место в существующем категориальном аппарате. На этом фоне вопрос о чистоте терминологии — сохранить ли принятое в международной практике название нового феномена или придумать ему русскоязычную версию («в мокроступах по гульбищу») — отступает на второй план. Задача данной работы — сопоставление феноменов установки и неосознаваемого семантического прайминга — выросла из подобного академического запроса.

В самом общем виде под установкой понимается «готовность к определенной активности» (Узнадзе, 2001, с. 131). Явление установки было зафиксировано в Лейпцигском университете, в лаборатории В. Вундта С. Экснером, а затем Л. Ланге в 1886 г. в исследовании простой двигательной реакции в ответ на звуковой раздражитель. В зависимости от того, был ли настроен испытуемый на восприятие стимула, который требовал реакции, или на сам двигательный ответ, менялось время реакции (Lange, 1888 в переводе Lee, 2009; Асмолов, 2002). Через двадцать лет на описанное Экснером явление, а также на ряд других сходных феноменов, например иллюзию Шарпантье, обратил внимание посещавший семинар Вундта Д. Н. Узнадзе. По возвращении на родину в Тбилиси Узнадзе занялся всесторонним исследованием и теоретическим осмыслением установки, что послужило основой для создания его собственной теории (Асмолов, 2002).

Другой феномен неосознаваемого влияния прошлого опыта на поведение человека получил название прайминга. Под праймингом в общем виде понимается эффект изменения параметров ответа на стимул при выполнении некоторой задачи (это может быть, например, изменение скорости или точности ответа или вероятности ответа определенного типа) в результате предшествующей встречи с тем же или подобным стимулом по сравнению с нейтральным условием (McNamara, 2005; Фаликман, Койфман, 2005). Открытие прайминга связывают с исследованием Д. Майера и Р. Шваневельда 1971 года, основанным на задаче лексического решения², в котором было обнаружено, что время реакции на пару стимулов-слов меньше, если они ассоциативно связаны друг с другом, чем

² В задаче лексического решения от испытуемого требуется различение слов и лишённых смысла наборов букв.

если такой связи между ними нет (Meyer, Schvaneveldt, 1971). Такой тип прайминга получил название семантического. Идея и объяснение результатов исследования изначально были основаны на представлении о семантической памяти как сети, первые модели которой начали появляться во второй половине 1960-х гг. (Collins, Quillian, 1969; McNamara, 2005). Процедура семантического и, в частности, неосознаваемого семантического прайминга (в этом случае стимулы-праймы не осознаются испытуемым) широко используется для исследования процесса опознавания слов (word recognition), понимания языка (language comprehension) и репрезентации знаний (knowledge representation) (McNamara, 2005).

Независимо от подхода к теоретическому обоснованию можно говорить о трех вариантах понимания установки и прайминга: как *процедуры, состояния и эффекта*. В связи с этим для того, чтобы избежать путаницы в терминах, мы будем обозначать состояние как «установка» и «прайминг», эффект — как «эффект установки» и «прайминг-эффект» соответственно и отдельно указывать на условия или процедуру их получения.

Далее мы дадим более развернутое определение и описание видов установки и прайминга, а также кратко обсудим теории и модели, связанные с каждым из этих феноменов. Наконец, в последней части статьи опишем эмпирические исследования, позволяющие различить установку и неосознаваемый семантический прайминг, а также посвященные влиянию установок на прайминг-эффекты.

I. Установка

Если попытаться проследить истоки возникновения процедуры получения установки как эффекта, с одной стороны, и примеры использования термина «установка» — с другой, можно, не претендуя на исчерпывающую полноту, выстроить следующую историческую последовательность.

1860 г. — Г. Т. Фехнер описывает иллюзию веса, которая наблюдается, если в нескольких последовательных пробах давать испытуемому для сравнения два разновеса, причем более тяжелый всегда дается в одну руку, а более легкий в другую. В очередной пробе испытуемый получает для сравнения два одинаковых по весу предмета, и тот из них, который попадает в руку, в которую раньше помещали более легкий предмет, воспринимается как более тяжелый из двух. Описание или упоминание данной иллюзии можно найти во множестве источников, в том числе ее упоминает сам Узнадзе (Вундт, 1896; Григолава, 1978; Узнадзе, 2004). Фактически иллюзия веса Фехнера является частным случаем иллюзии контраста (Григолава, 1978).

1886 — С. Экснер и ассистент В. Вундта Л. Ланге дали название «установка» (Einstellung) явлению, которое обнаружили при изучении простой двигательной реакции.

1891 — О. Шарпантье описал иллюзию тяжести, или размера-веса, названную в его честь «иллюзией Шарпантье»: из двух предметов одинакового веса,

но разного объема, больший по размеру предмет воспринимается как более легкий. То есть данная иллюзия тоже представляет собой иллюзию контраста.

1893 — О. Кюльпе, основатель Вюрцбургской школы, выдвигает предположение, что в экспериментах на время реакции скорость ответа испытуемого зависит от степени его подготовки (Асмолов, 2002).

1904 — Г. Уатт, представитель Вюрцбургской школы, бывший студентом О. Кюльпе, первым исследует ментальную установку в области решения задач и проблем (problem solving). Он также использует термин “Einstellung”, которому в англоязычной литературе соответствует “task mental set” или “task set”. Одно из заданий, которые использовал Уатт, заключалось в том, чтобы в каждой пробе называть категорию для предъявленного элемента (например, «птица» — категория для «малиновки»). Источником установки служило требование давать ответ на определенном этапе его поиска (King, Wertheimer, 2005). В 1970-х Э. Рош обнаружит, что скорость категоризации объектов различна, — например, ворона окажется отнесенной к птицам быстрее, чем колибри или пингвин, — и на основе этих исследований будет разработана теория прототипов, которая окажет мощное влияние на формирование моделей семантической памяти, используемых для описания прайминг-эффектов (Rosch, 1975). Н. Ах, другой ученик и последователь Кюльпе, вводит понятие «детерминирующей тенденции» как проявления в деятельности испытуемого установки, вызванной задачей (Janzen et al., 1976).

1905–1907 — Д. Н. Узнадзе занимается исследованием философии Лейбница в университете Лейпцига, где участвует в семинаре В. Вундта. В 1910-х в процессе критического осмысления основ современных ему психологических теорий он приходит к понятию установки, а в начале 1920-х начинает активное исследование феномена установки (Надирашвили, 1986а).

1942 — А. Лачинс, представитель гештальт-психологии, ученик и сотрудник М. Вертгаймера, который в свою очередь защитил диссертацию под руководством О. Кюльпе, публикует результаты своих экспериментов по изучению установки (Einstellung, или mental set, или «эффект Лачинса», как он был вскоре назван) в решении задач. От испытуемого требовалось отмерить определенное количество воды, имея в распоряжении несколько емкостей разного объема: первая задача являлась ознакомительной, ряд последующих — установочными, а последние несколько задач — тестовыми. В тестовых задачах общий принцип решения, который испытуемый обнаруживал в установочных задачах, либо мог быть реализован наряду с более простым решением, либо был неприменим вовсе. Тем не менее большинство испытуемых на протяжении ряда попыток оказывались неспособны увидеть простое решение и отказаться от найденного общего принципа (Luchins, 1942).

Таким образом, можно утверждать, что, во-первых, за понятием «установка», особенно в зарубежных работах, стоит целый ряд разнообразных явлений, во-вторых, что идеи процедуры экспериментального исследования установок были заложены еще в классических школах психофизики и психологии сознания,

и, в-третьих, что Узнадзе, по-видимому, первым увидел общую природу различных иллюзий и эффектов и предпринял попытку их описания и объяснения через понятие установки.

Линия эмпирического изучения установки

Ставшая классической процедура получения эффекта установки, часто обозначаемого в зарубежных источниках как «эффект Узнадзе» (например, Piaget, Lambercier, 1944, цит. по Ketchuashvili, 1994; Makashvili, 2015), а в работах школы Узнадзе — как «фиксированная установка» (Узнадзе, 1966), была разработана Узнадзе в начале 1920-х гг. и строилась по общей схеме, объединившей идеи Фехнера и Шарпантье: объекты разного веса были заменены на шары разного объема, но одинакового веса. Каждый сеанс работы с испытуемым состоял из двух этапов — предварительной серии и критического опыта. В предварительном опыте испытуемый решал задачу сравнения двух объектов по объему, причем один из объектов всегда располагался одинаково по отношению к другому — например, шар большего объема всегда давался в левую руку, а шар меньшего объема — в правую. После нескольких установочных проб испытуемый получал для сравнения идентичные объекты, это и был критический опыт. В большинстве случаев испытуемые оценивали эти объекты как неодинаковые: так, шар в правой руке мог показаться большим по объему, чем шар в левой руке, — иллюзия контраста; либо наоборот — иллюзия ассимиляции (Узнадзе, 1966; Надирашвили, 1986б; Гиппенрейтер, 2000). Разнообразные вариации описанной процедуры касались типа и количества объектов, модальности предъявления и исследуемого признака (например, сила давления, громкость, освещенность).

По мнению Узнадзе, переживание иллюзорной неодинаковости сравниваемых объектов позволяет говорить о наличии некоторого лежащего в его основе активного состояния, которое он, как и эффект, обозначил термином «установка». Таким образом, предлагается строить исследование установки как состояния на основе изучения эффекта, который она оказывает в различных условиях на содержания сознания и деятельность субъекта.

Объяснение наблюдаемых в описанных экспериментах иллюзий с использованием понятия установки было успешным. На основе многочисленных экспериментов на разнообразном материале Узнадзе делает вывод о том, что установка связана не с функционированием отдельных органов, но является проявлением активности живого организма как целого.

Кроме того, были выявлены эффекты иррадиации и генерализации установки. Эффект иррадиации заключается в переносе установки из одной модальности в другую. Например, при сравнении в предварительной серии шаров по объему, в контрольном опыте установка проявляется при сравнении двух световых кругов по диаметру. Эффект генерализации состоит в том, что установка проявляется в отношении объектов, отличающихся от тех, на которых она была фиксирована в предварительной серии, когда между новыми объектами сохраняется отношение, заданное как ключевое в исходной ситуации. Например, при сравнении в предвари-

тельной серии кругов по размеру, в контрольном опыте установка проявится при сравнении по размеру квадратов или фигур любой другой формы.

Дальнейшее исследование природы установки показало, что в случае выполнения испытуемым предварительных опытов в состоянии гипноза, а критического опыта — в обычном состоянии сознания, также возникает иллюзия установки, что позволило Узнадзе сделать вывод о внесознательной природе состояния установки (Узнадзе, 1966).

Линия теоретических поисков

Установка как теоретический конструкт оказалась недостающим звеном для решения проблемы «догматически допущенных предпосылок традиционной психологии», которой Узнадзе заинтересовался еще в 1910-х гг. (Узнадзе, 1966, с. 158). Узнадзе обнаружил две такие «догматические предпосылки»: постулат непосредственности и эмпиристический постулат.

Постулат непосредственности заключается в предположении о непосредственности характера связи между сознательными психическими явлениями и между психическими и физическими процессами (там же). Содержанием *эмпиристического постулата* является проблема эмпирического характера этой связи:

«Для того чтобы живое существо могло выделить в среде что-нибудь <...> подходящее для удовлетворения его потребностей, <...> оно должно обратиться к ряду „проб и ошибок“ и продолжать эти „пробы и ошибки“ до тех пор, пока случайно не натолкнется на что-нибудь подходящее для удовлетворения его потребности» (там же, с. 162).

Критика непосредственной связи психических явлений нацелена на представления классической психологии сознания, которые развивал В. Вундт, непосредственность взаимного влияния психических и физических явлений относит нас к ранним представлениям в рамках бихевиористского направления.

Выявив эти постулаты и отказавшись от них, Узнадзе начинает искать «среднее звено», способное опосредовать взаимодействие психической и физической реальности, и в конце своих поисков приходит к понятию «установка». В 1925 г. вышла книга Узнадзе «Основы экспериментальной психологии» (на груз. яз.), в которой были даны некоторые принципы теории установки.

В качестве необходимых условий возникновения установки к действию и, соответственно, самого действия Узнадзе выделяет «наличие какой-либо потребности у субъекта поведения и ситуации, в которой эта потребность могла бы быть удовлетворена» (Узнадзе, 1966, с. 164).

Значение понятий потребности и ситуации для замыкания круга субъективных и объективных явлений показывает в анализе теории установки Ф. Е. Василюк. Он указывает на предполагаемую в потребности как субъективном полюсе объективную реальность, то есть ситуацию удовлетворения потребности, и на невозможность существования ситуации как объективно-

го полюса вне отношения к субъекту. Установка задает «представление о едином «жизненном мире», сущностно предшествующем своим моментам — субъекту, объекту и их взаимодействию» (Василюк, 2003, с. 58).

Таким образом, установка рассматривается как психотелесный феномен и строится теория, в которой

«все психические функции, процессы и состояния представлены как отдельные «органы» целостного субъекта, не сводимого ни к физиологической и ни к психологической реальности. Установка должна мыслиться как модус существования именно такого (несводимого к отдельным своим сторонам) реального субъекта конкретной деятельности» (Сарджвеладзе, 1985, с. 119).

Целостная общепсихологическая теория установки Узнадзе сформировалась к 1940 г., когда была издана его книга «Общая психология», завершившая первый этап развития психологии установки. Установка переводится из статуса исследуемого феномена в статус психологического механизма для объяснения других феноменов (см. обоснование у Баиндурашвили, 1986 и Надирашвили, 1986а). Например, как проявления установок стали описываться ошибочные действия, эффекты категоризации в восприятии, эффекты социальной перцепции (Гиппенрейтер, 2000), через понятие установки описывались характер и личностные черты (Норакидзе, 1983), иерархия установок была положена в основу диспозиционной теории личности (Ядов, 2013). За всеми проявлениями психической жизни человека теперь можно усмотреть действие установки и, соответственно, именно в терминах установки объяснить не только отдельные иллюзии восприятия объектов или их признаков, но и особенности личностного развития, взаимодействия с другими людьми и с миром в целом. Отношение к установке как к предмету исследования при работе на эмпирическом уровне сменяется использованием установки в качестве универсального объяснительного принципа на общетеоретическом уровне.

Виды установки

Вслед за Узнадзе В. Г. Норакидзе (1983) выделяет два вида установок: первичную и фиксированную. Ш. А. Надирашвили обозначает их как «актуально-ментальная» и «диспозиционно-подкрепленная» установка, соответственно (Надирашвили, 1978).

Первичная установка появляется вместе с активностью субъекта в ситуации удовлетворения потребности и «сама снимает себя» после того, как потребность оказывается удовлетворена. При этом постулируется, что первичная установка определяет ход течения явлений сознания, никогда не вступая в его пределы (Асмолов, 2002).

Фиксированная установка возникает на основе многократного повторения и вследствие этого упрочения первичной (актуальной) установки. При появлении условий, в которых установка была выработана, она запускает именно то действие, в котором она ранее была зафиксирована, независимо от того, адекватно это действие ситуации или нет (Асмолов, 2002). Надирашвили (1978) отмечает, что установка может мешать

активности только в случае сверхфиксации, что, по его мнению, наблюдается в экспериментах Лачинса³.

Установки функционируют в неосознаваемой форме и действуют до тех пор, пока на пути осуществления некоторой активности не встречается препятствие, мешающее успешной реализации деятельности на основе установок. В этом случае происходит переход к функционированию на высшем, сознательном уровне психической деятельности — уровне *объективации* (Узнадзе, 1966). Однако в этой части теория Узнадзе не была детально проработана (Асмолов, 2002).

Установки проявляются во всех сферах психической жизни — познавательной, эмоциональной, волевой, а также на личностном уровне.

Подробный и тщательный критический анализ теории установки проводит в своей работе 1979 года «Деятельность и установка» А. Г. Асмолов. Встраивая установку в теорию деятельности, развивавшуюся в школе А. Н. Леонтьева, Асмолов рассматривает ее как психологический механизм стабилизации деятельности. Рассмотрение установки в отношении к деятельности позволяет наполнить общие теоретические положения теории установки реальным содержанием, а также дать целостную и внутренне непротиворечивую интерпретацию самому феномену установки, то есть ее проявлениям в жизни человека. С другой стороны, встраивание установки в деятельность лишает ее той основополагающей и определяющей роли в жизни человека, которую на теоретическом уровне приписывал ей Узнадзе.

Асмолов выделяет четыре вида, или уровня, установки: смысловая, целевая и операциональная установки и уровень психофизиологических механизмов-реализаторов установки в деятельности (Асмолов, 2002).

Смысловую установку Асмолов определяет как «форму выражения личностного смысла в виде готовности к совершению определенным образом направленной деятельности» (там же, с. 76), функцией которой является стабилизация деятельности, выбор тех или иных целей, соответствующих мотиву деятельности. Таким образом, смысловая установка выступает в роли фильтра по отношению к установкам ниже лежащих уровней — целевой и операциональной установкам. Смысловые установки могут быть как осознаваемыми, так и неосознаваемыми, а их смена возможна только при изменении мотива. Процесс целеобразования приводит к возникновению *целевой установки*.

Под целевой установкой понимается готовность субъекта совершить то, что сообразно стоящей перед ним цели, то есть осознанно превосхищаемому результату действия. Такая установка возникает после принятия определенной задачи и выполняет функцию стабилизации действия. Целевая установка феноменологически проявляет себя в условиях объективации: при резком нарушении действия или изменении ситуации, в которой разворачивается действие, целевая

установка выступает в виде системных персевераций, ошибок и тенденции к завершению прерванного действия, как момент регуляции действия.

Под *операциональной установкой* понимается готовность к осуществлению определенного способа действия, возникающая в ситуации разрешения задачи на основе учета условий наличной ситуации и предвосхищения этих условий, а также с учетом прошлого опыта поведения в подобных ситуациях. К этому классу установок на основе содержательных критериев Асмолов относит фиксированные установки, исследованию которых было уделено большое внимание в школе Узнадзе.

В соответствии с логикой теории деятельности необходимым является выделение *психофизиологических механизмов — реализаторов установки*. Попытки их описания и анализа даются в рамках представлений о «нервной модели стимула» Е. Н. Соколова (Соколов, 1960), «акцепторе действия» П. К. Анохина (Анохин, 1975) и др. Стоит отметить, что этот уровень анализа установки является наименее разработанным как в школе Д. Н. Узнадзе, так и в работе А. Г. Асмолова, и требует отдельного рассмотрения в контексте достижений в области психофизиологии и физиологии высшей нервной деятельности.

Резюме

Знакомство с работами Узнадзе позволяет утверждать, что он шел к созданию общепсихологической теории установки двумя путями:

- Со стороны изучения установки как объяснительного механизма разнообразных феноменов, с которыми в своих исследованиях по отдельности сталкивались почти все психологи на рубеже XIX–XX веков (привыкание, иллюзии, ошибки переоценки и недооценки) и которые не могли найти объяснение в рамках принятых направлений психологии сознания и психофизики.

- По линии поиска теоретического конструкта, способного сломать традицию противопоставления психического и физического (задача преодоления постулата непосредственности). В ходе поиска «звена», объединяющего физический мир и сознание, Узнадзе последовательно рассматривает понятия «биосферы», «подпсихического», «ситуации» и в конце своих поисков приходит к установке как наилучшему воплощению идеи о «звене», объединяющем физическую и психическую природу целостной личности, действующего в мире субъекта.

В настоящее время теория установки в том виде, в котором ее успел разработать Д. Н. Узнадзе, привлекает к себе внимание в большей степени с точки зрения истории науки (Angelini, 2008; McLeish, 2015), актуальность сохраняет идея уровневой и иерархической организации установок, предложенная А. Г. Асмоловым. Также продолжают применяться разработанные в школе Д. Н. Узнадзе методы фиксации установки, причем установка выступает не только в роли самостоятельного предмета исследования (Тухтиева, 2014), но и учитывается при изучении других явлений (например, Гусев, Садовская, 2015). Разнообразие видов

³ Сравнительный анализ эффектов Лачинса и Узнадзе проведен Н. Х. Тухтиевой в контексте исследования зависимости обоих эффектов от irrelevantных параметров задачи с точки зрения функционирования механизма сознательного контроля (Тухтиева, 2013).

установок (мотивационных, познавательных, перцептивных и т. д., см. обзор О. А. Арбековой (2016)) и терминологии, используемой для их обозначения в отечественных и зарубежных исследованиях, в определенной мере осложняет интеграцию результатов различных исследований и сопоставление установки с другими феноменами.

Наиболее важными для сопоставления с неосознаваемым семантическим праймингом представляются следующие описанные в теории установки особенности установки как состояния:

- возможность фиксации установки в серии последовательных опытов, сохраняющих неизменным подлежащее фиксации отношение;
- фиксированные установки разворачиваются в виде готовых действий, будучи запущены подходящей ситуацией/условиями;
- установки сохраняются потенциально неограниченное время;
- несводимость установок к перцептивным и интеллектуальным схемам (в то же время вопрос о формах хранения установок и их актуализации в этом случае остается открытым);
- возможность выделения различных видов установок — смысловых, целевых, операциональных — в соответствии со структурой деятельности;
- личностная отнесенность установок (по крайней мере, смысловых и целевых).

II. Прайминг

Прайминг-эффект был открыт и изучался в когнитивной психологии, в исследованиях имплицитной, или неявной, памяти. В дальнейшем этот феномен был выявлен не только в когнитивной, но и в моторной, мотивационной и эмоциональной сферах, и даже в социально-психологическом контексте (Doyen et al., 2014), однако целостного представления о природе прайминг-эффектов до сих пор не существует. На данный момент для каждого вида прайминга разрабатываются отдельные, относительно независимые друг от друга модели (McNamara, 2005; Janiszewski, Wyer Jr., 2014).

В контексте когнитивной психологии памяти прайминг⁴ (от англ. глагола *“to prime”* — инструктировать заранее, натаскивать, *давать предшествующую*

⁴ В российской психологии обсуждение данного класса явлений началось сравнительно недавно, и единого русскоязычного аналога термина *«priming»* до сих пор не выработано. В ранних работах отечественных исследователей и в переводных изданиях можно встретить такие варианты его перевода, как «преднастройка» (Величковский, 1982), «подсказка» (Ахутина, Каширская, 2000), «подготовка» (Андерсон, 2002), «эффект предшествования» (Бэддели, 2001; Дормашев, Романов, 1995), как синонимы через запятую используются слова «прайминг» и «установка» в переводе книги Э. Аронсона «Общественное животное» (Аронсон, 1998). Каждое из названий в той или иной степени схватывает смысл явления, но не отражает его полностью. В настоящее время авторы уже активно используют термины «прайминг» и «прайминг-эффект» (Ахутина, 2014; Величковский, 2006; Спиридонов, Абисалова, 2012; Федорова, 2014; Филиппова, 2016 и многие другие).

установку и т. п.) понимается либо (а) как изменение скорости или точности решения задачи (перцептивной, мыслительной или мнемической), наблюдаемое после предъявления информации (прайма), близкой с объектом решения задачи (целевым стимулом) по какой-либо характеристике, но не соотносящейся прямо с целью и требованиями задачи, либо (б) как повышение вероятности спонтанного воспроизведения этой информации в подходящих условиях (Фаликман, Койфман, 2005). Ряд авторов расширяют круг прайминг-эффектов, описывая помимо когнитивных форм прайминга эмоциональный, или аффективный, прайминг, который заключается в изменении оценок валентности объектов, в том числе самооценки, под влиянием эмоционально окрашенных праймов (например, Baldwin et al., 1990; Murphy, Zajonc, 1993; Мещеряков, Гизатуллин, 2012; Харрис, 2002), и социальный прайминг — изменение вероятности или особенностей реализации определенных действий или способов поведения (Molden, 2014). Признаки, связывающие прайм и целевой стимул, могут быть как формальными (например, перцептивное сходство «кошка»-«мошка» может стать основанием для перцептивного прайминг-эффекта), так и содержательными (например, наличие семантической или ассоциативной связи «кошка»-«собака»). В отношении целевого слова может, например, выполняться задача лексического решения или категоризации, не имеющая отношения ни к оценке графических особенностей слова, ни к поиску ассоциаций. Поскольку прайминг, вне зависимости от намерений человека, может повлиять на решение задачи как положительно, так и отрицательно, этот феномен относится к классу произвольных и неосознаваемых влияний на решение задач (Фаликман, Койфман, 2005). В случае ускорения или повышения точности ответов можно говорить о положительном эффекте прайминга, а при ухудшении показателей решения задачи — об отрицательном.

Стоит отметить, что большинство исследований, связанных с изучением прайминга или использующих прайминг в качестве средства для изучения других феноменов, проводится на зрительно представленном с помощью различных компьютерных программ материале, в лабораторных условиях. Однако встречаются также исследования кросс-модального прайминга, при котором прайм и целевой стимул предъявляются в разных модальностях, и прайминга на звуковом материале (Buchner et al., 2003; Daltrozzo et al., 2011). Одним из первых начал изучаться семантический прайминг, так как сам феномен прайминга был открыт в рамках исследований семантической памяти (Meyer, Schvaneveldt, 1971).

Семантический вид прайминга выделяется по типу сходства прайма и целевого объекта на основе связи или сходства объектов по значению. Это может быть связь между объектами, принадлежащими к одной семантической категории («стол» – «шкаф») либо к категориям разного уровня («стол» – «мебель»), тогда говорят о категориальном прайминге. Семантическая связь может сочетаться с ассоциативной связью («кошка»-«мышка»), однако возможно наличие ассоциативной связи, которая предполагает ситуатив-

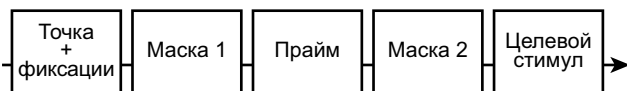


Рисунок 1. Стандартная последовательность предъявления стимулов в одной пробе. Продолжительность предъявления стимулов и интервалов между ними, а также способ маскировки прайма варьируется от исследования к исследованию

ную категоризацию в отсутствие семантической связи («кофе» – «сигареты»), на основании чего как отдельный вид выделяется ассоциативный прайминг (Perea, Rosa, 2002).

В зависимости от того, доступен ли стимул-прайм для сознательного восприятия испытуемым, различают осознаваемый и неосознаваемый (подпороговый) виды прайминга. В классической процедуре получения неосознаваемого прайминг-эффекта возможность осознания прайма испытуемым контролируется с помощью *маскировки*, то есть путем предъявления дополнительных стимулов непосредственно до и сразу после предъявления прайма. В этом случае стимул-прайм вполне может преодолеть порог восприятия, но не может быть вовремя обработан механизмами внимания, вследствие чего информация о нем не достигает сознания (Dell'Acqua, Grainger, 1999). Помимо маскировки для предотвращения осознания прайма могут использоваться *сокращение длительности предъявления* либо *снижение интенсивности* стимула-прайма (Филиппова, 2008).

Общая процедура получения эффекта неосознаваемого семантического прайминга выглядит следующим образом: испытуемому предъявляются целевые стимулы (это могут быть рисунки, цифры, слова и т. п.), в отношении которых он решает задачу, требующую моторного ответа (например, посредством нажатия на определенную клавишу). Как правило, исследователи семантического прайминга используют различные варианты задачи категоризации с фиксацией времени реакции (ВР) как показателя, на основе которого рассчитывается величина эффекта. За точку отсчета берется ВР в контрольном условии, то есть при замене прайма на нейтральный объект одного с ним класса, например, случайный набор согласных вместо слова. Величина эффекта измеряется разностью ВР между контрольным условием и условием со «значимым» праймом (праймом, семантически связанным с целевым стимулом). В соответствии со знаком этой разности прайминг определяется либо как положительный, либо как отрицательный. В каждой пробе предъявлению целевого стимула предшествует предъявление прайма в условиях маскировки (рисунок 1). Продолжительность каждой пробы составляет всего несколько секунд, а пробы с нейтральным и значимым праймом чередуются в случайном порядке.

Модели семантического прайминга

Модели семантического, а также некоторых других видов прайминга исходно представляли собой модели семантической памяти, призванные описать структуру знаний человека как иерархически организованной системы понятий. Дальнейшее развитие моделей, в том числе в области искусственного интеллекта,

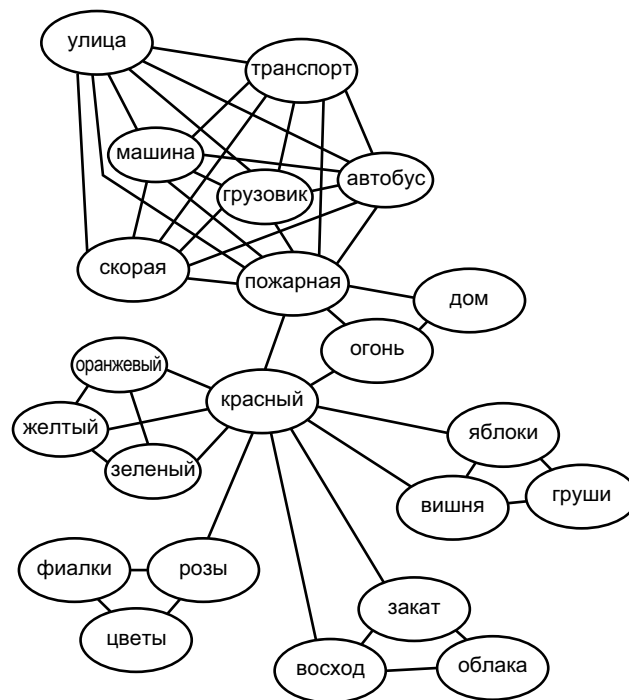


Рисунок 2. Фрагмент семантической сети (на основе Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407–428. Figure 1). Приводится в соответствии с [общим разрешением](#) Американской психологической ассоциации

происходило в более широком контексте системного исследования познания и оказалось связано с проблемами усвоения и использования речи, научения, мышления и др.

Семантический прайминг был впервые описан в модели распространяющейся активации, основой для создания которой послужила компьютерная модель Р. М. Квиллиана (Quillian, 1967)⁵. Развитие идей распространения активации прослеживается в моделях А. Коллинза и Э. Лофтуса (Collins, Loftus, 1975) и в ряде других (см. обзор McNamara, 2005). Структура памяти представлена в этих моделях в виде сети взаимосвязанных элементов, каждый из которых репрезентирует некоторое понятие (рисунок 2). Свойства понятий представлены в виде связей с другими понятийными элементами, причем в моделях предусматриваются различные механизмы для обеспечения различной силы связи между элементами сети (McNamara, 2005).

Общими для всех моделей распространяющейся активации являются следующие три предположения:

- извлечение из памяти некоторого элемента происходит за счет активации его внутренней репрезентации (при превышении некоторого порога активированный элемент переводится в сознание);

⁵ Интересно, что корни «научной родословной» Росса Квиллиана ведут к Вюрцбургской школе, в которой было введено понятие установки, связанной с задачей (Einstellung): учителя Квиллиана, А. Ньюэлл и Г. Саймон, через психолога и шахматиста А. де Гроота восприняли метод анализа протоколов решения задач, разработанный О. Зельцем, учеником О. Кюльпе (Simon, 1981; Sowa, 1992). Квиллиан также использовал идеи Зельца при разработке модели распространяющейся активации.

- активация распространяется от одного элемента сети к другим, связанным с ним;
- остаточная активация элемента облегчает / ускоряет его последующее извлечение из памяти.

На основе этих предположений механизм семантического прайминга выглядит следующим образом: при предъявлении прайма активируется его семантическая репрезентация, эта активация распространяется к связанным с праймом элементам сети и тем самым в течение некоторого времени дает преимущество в скорости опознания целевого стимула, связанного с праймом семантически, по сравнению со стимулом, не имеющим связи с праймом. Дополнительные настройки модели позволяют предсказывать изменение величины прайминг-эффекта в зависимости от особенностей материала, таких как ассоциативная сила связи между понятиями, их частотность, фонетическое или орфографическое сходство и т. п.

Т. МакНамара отмечает, что в настоящее время модели распространяющейся активации и другие модели, в основе которых лежат относительно простые объяснительные схемы семантического прайминга, уже не в состоянии объяснить все многообразие проявлений этого феномена. Он выделяет два необходимых требования к моделям семантического прайминга и опознания слов. Первое состоит в том, чтобы различать уровни лексико-семантических репрезентаций, обеспечивающих опознание отдельных свойств, букв, слов и значений. Второе требование предписывает моделям обеспечить возможность свободного перемещения информации между уровнями в соответствии с целями ее переработки (McNamara, 2005), то есть указывает на необходимость учитывать так называемую нисходящую (top-down) регуляцию переработки информации.

Другое направление реконструкции механизмов семантического прайминга связано с разработкой моделей распределенных сетей⁶, основанных на принципе параллельной распределенной переработки информации (PDP — parallel distributed processing). Модели распределенных сетей заняли важное место в когнитивной психологии в середине 1980-х годов и до сих пор активно развиваются, в частности в работах Джеймса МакКлелланда с коллегами (Plaut, McClelland, 2010; Rogers, McClelland, 2011).

Согласно моделям распределенных сетей понятия представлены паттернами активации на множестве тесно взаимосвязанных элементов. Элементы, как правило, собраны в модули, предназначенные либо для отображения определенного типа информации (например, зрительной или вербальной), либо для выполнения конкретной задачи в процессе переработки информации (например, входа или выхода). Модули могут быть связаны или не связаны между собой в зависимости от архитектуры сети. Можно утверждать, что модели распределенных сетей отвечают требованию количественного описания и в прямом

смысле моделирования процессов переработки информации на разных уровнях.

Предъявление сети некоторого стимула дает исходный паттерн активации элементов, причем разные элементы активируются в разной степени. Паттерн меняется за счет получения одними элементами активации от других связанных с ними элементов до тех пор, пока не достигается устойчивости. Какой именно паттерн устанавливается в ответ на входной сигнал, зависит от веса связей между элементами. Таким образом, знание кодируется в весах связей и обеспечивает долговременную память сети (McNamara 2005).

В моделях этого типа понятия представлены в форме распределенных паттернов активации таким образом, что паттерны сходных понятий перекрываются. Семантический прайминг возникает постольку, поскольку в процессе опознания целевого объекта участвуют те же или некоторые из тех элементов паттерна, которые оказались предварительно активированными в процессе опознания прайма, в результате чего опознание цели ускоряется (Plaut, Booth, 2000).

Прайминг, понимаемый как состояние, можно соотносить с вызванной действием прайма преднастройкой, то есть повышением активации отдельных элементов семантической или распределенной сети, структура которой по-разному представлена в существующих моделях. Эффект прайминга наблюдается за счет изменения скорости обработки целевого стимула в результате предварительной активации участвующих в его опознании элементов сети. В силу маскировки праймов, использования большого числа разнообразных стимулов и необходимости переключения между ответами на стимулы разного типа, продолжительность действия вызванной праймом активации невелика и, по разным оценкам, ограничивается временем от долей секунды до нескольких минут (Chua et al., 1996; Kokinov, 1990).

Резюме

Традиция исследований неосознаваемого семантического прайминга связана с моделями семантической памяти и развитием представлений о ее структуре и законах функционирования. С одной стороны, описание и объяснение прайминг-эффектов оказалось привязанным к предполагаемому моделью субстрату, отличается конкретностью и открыто для эмпирической проверки, с другой стороны, акцент на когнитивной составляющей и ограничение исследований рамками лаборатории поставило данную область исследований вне контекста целостной личности с ее мотивацией, эмоциональными и волевыми процессами и индивидуальной историей, учет которого характерен для теории Д. Н. Узнадзе или теории деятельности. Обращение к возрастным, клиническим, культурным, то есть групповым, различиям в проявлении прайминга не является движением в этом направлении. Идеи, исходно заложенные в теорию установки, начали интегрироваться в подходы к изучению неосознаваемого семантического прайминга относительно недавно.

Для нас важны следующие особенности неосознаваемого семантического прайминга:

⁶ Модели распределенных сетей относятся к числу нейросетевых моделей, разрабатываемых в рамках коннекционизма.

■ Прайм и, соответственно, его связь с целевым стимулом остаются вне сознания испытуемого.

■ Эффект прайминга не может быть выявлен в отдельной пробе или в небольшой серии проб (10–15, как при фиксации установки), что связано с используемым материалом. Помимо общего для прайма и целевого стимула качества, например принадлежности к одной семантической категории, каждый из целевых стимулов и праймов обладает большим количеством свойств и связей разной силы с другими элементами в структуре семантической памяти, до некоторой степени уникальными для каждого испытуемого. Поэтому для вычисления величины прайминг-эффекта производится усреднение времен реакции или подсчет количества ошибок в большом количестве проб — для нейтрального и значащего условия в отдельности — по каждому испытуемому и затем по выборке в целом.

Семантические сетевые модели строятся для описания процессов обучения, хранения и использования информации в долговременной памяти, исследования речи и языка. Нейросети моделируют процессы переработки информации и, с одной стороны, строятся и дорабатываются таким образом, чтобы возможно точнее воспроизводить результаты поведенческих исследований семантического прайминга, с другой стороны, они позволяют предсказывать новые особенности проявления прайминг-эффектов и проверять эти предсказания в реальных поведенческих экспериментах.

III. Прайминг и установка

Установка, понимаемая как универсальный объяснительный принцип в психологии, не сопоставима с праймингом, поскольку ни в отечественной, ни в зарубежной традиции понятие «прайминг» не используется для объяснения в общетеоретическом плане, а только для обозначения определенного класса феноменов в конкретно-психологических исследованиях. Справедливости ради стоит отметить, что механизм активации единиц семантической памяти как фактор, влияющий на разворачивающиеся на фоне этой активации познавательные процессы и даже поведение человека (если говорить об активации сценариев и поведенческих схем), вполне претендует на универсальность. Однако эта идея в явной форме не заявляется исследователями прайминга и не делает сам прайминг универсальным объяснительным механизмом. Опасность выделения единого для всех психических процессов и явлений объяснительного принципа была показана в работе Л. С. Выготского 1927 года «Исторический смысл психологического кризиса» (по Выготский, 2005), ограничения понимания установки в качестве такого принципа были всесторонне рассмотрены А. Г. Асмоловым (Асмолов, 2002). Кроме того, если, оставаясь в рамках теории установки Д. Н. Узнадзе, попытаться найти и описать механизмы возникновения и функционирования установок как состояний, их также придется описывать в терминах установки, то есть использовать понятие установки для объяснения феноменов установки. Поэтому будем использовать для сравнения иные представления об установке.

При расширенном понимании установки как влияния предшествующего опыта на психическую составляющую актуальной деятельности человека, к классу эффектов установки, несомненно, можно отнести и прайминг-эффекты. Такое понимание позволяет объяснить все многообразие поступков и целей человека через действие установок, адекватных наличной ситуации и потребностям личности, причем сами потребности также выводимы из установок. Описанный способ связать прайминг и установку использован при определении прайминга в Большом психологическом словаре. В частности, читаем: «Прайминг — процесс активации и актуализации уже существовавшей установки, которая может привести к искаженной интерпретации воспринимаемой ситуации» (БПС, 2003).

Установка и прайминг как состояние

При формальном сопоставлении можно выделить следующие параметры сходства прайминга и установки.

Во-первых, состояние установки, как и прайминга, напрямую человеком не осознается. В случае, когда человек знает о наличии любого из этих эффектов, он не может произвольно его снять, а может только учесть его наличие при выполнении некоторой деятельности и постараться компенсировать, причем компенсация не может быть соразмерна силе эффекта, поскольку выраженность установки или прайминга не поддается сознательной оценке.

Во-вторых, оба феномена проявляются во всех сферах психического — в познании, эмоциональных и мотивационно-волевых процессах, на личностном уровне (самооценка) и в социальном плане — и демонстрируют эффекты переноса, например из одной сенсорной модальности в другую.

В-третьих, и установка (фиксированная), и прайминг «ждут подходящего момента» для реализации, то есть в определенных условиях могут проявиться в форме соответствующих эффектов.

Обращаясь к базовым категориям теории установки — потребности и ситуации, — можно найти следующее различие установки (прежде всего, фиксированной) и прайминга: в конкретной ситуации у субъекта актуализируется та из фиксированных установок (способов действия), которая в наилучшей мере отвечает его потребностям, то есть соответствующую установку активирует «встреча» потребности и ситуации. В то же время прайминг рассматривается как действие наличной активации на отдельные аспекты деятельности субъекта, которые оказались каким-либо образом связанными с праймом, то есть прайминг оказывается проявлением полностью ситуативным.

Таким образом, одним из ключевых различий в понимании установки и прайминга является их отношение к субъекту деятельности, в которой они проявляются. Так, прайминг рассматривается как один из феноменов имплицитной памяти, функционирование которой выглядит относительно независимым от своего носителя — человека. Вынесение за скобки целостного субъекта с учетом особенностей его отношения к миру и деятельности в нем долгое время было характерно для когнитивной науки.

Если рассматривать установку как состояние активной готовности, а прайминг — как пассивную готовность, можно добавить, что именно в активности состояния готовности проявляется личностная отнесенность установки, на которой настаивал Узнадзе и которая подразумевается в выделенных Асмоловым смысловом и целевом видах установки, демонстрирующих связь установки со всей мотивационно-потребностной сферой. Прайминг же остается на доличностном уровне, работает помимо личности.

В терминах когнитивной психологии можно, предположительно, говорить о том, что установка проявляется на психофизиологическом уровне как источник нисходящих влияний на процессы переработки информации и организации деятельности. В этом контексте важным является предложенное Надирашвили отличие действий установки от влияний «актуализированных под непосредственным воздействием ситуации перцептивных и интеллектуальных схем, которые участвуют в организации человеческой активности как независимые от установки факторы» (Надирашвили, 1978, с. 117). Иными словами, установка несводима к существующим перцептивным и интеллектуальным схемам и эффектам, вызванным актуализацией этих схем, за которой можно увидеть прайминг как состояние. Таким образом, можно утверждать, что уже внутри школы Узнадзе было заложено основание для различения прайминга и установки.

Отношение прайминга и мотивации требует отдельного рассмотрения в свете исследований влияния неосознаваемого семантического прайминга на мотивацию, например при выполнении новой двигательной активности, как это показали в своей работе Рэйдел с коллегами (Radel et al., 2009). В первой, «психологической», части исследования испытуемые должны были как можно быстрее определять, являются ли два предъявленных изображения одинаковыми или разными, причем предъявлению каждого изображения предшествовало предъявление слов-праймов на подпороговом уровне восприятия. Праймы были трех типов, своего для каждой из трех групп испытуемых: слова, связанные с внутренней мотивацией (например, «желание», «свобода», «выбор»), внешней мотивацией (например, «принуждение», «долг», «подчинение»), либо случайные бессмысленные наборы букв (контрольное условие). Во второй, якобы не связанной с первой и посвященной физиологии части исследования испытуемые приступили к освоению кистевого тренажера Powerball. Испытуемые, праймированные на внутреннюю мотивацию, продемонстрировали более высокие результаты, приложили больше усилий к освоению навыка, дольше практиковались как в период тренировки, так и в период «свободного выбора занятия», отчитывались о более высоком уровне удовлетворенности деятельностью и удовольствия от процесса, а также показали более высокий уровень внутренней мотивации, чем испытуемые, праймированные на внешнюю мотивацию. Испытуемые из контрольной группы заняли промежуточное положение по всем показателям.

Таким образом, прайминг проявляется не как промежуточное звено между мотивом (потребностью)

и ситуацией ее удовлетворения, а как источник влияния на общую мотивационную направленность, а его эффект проявляется в ситуации, никак не связанной с контекстом, в котором происходило предъявление праймов.

Установка и прайминг: процедура и эффект

Прайминг-эффект по формальным характеристикам похож на установку: происходит изменение скорости или точности выполнения некоторой задачи в результате получения особого опыта до непосредственного выполнения этой деятельности. Однако процедура получения такого опыта испытуемым в классических исследованиях фиксированной установки и семантического прайминга принципиально отличается. Так, объект, чье свойство или отношение к другому объекту фиксируется в установке, в период фиксации всегда представлен в сознании испытуемого, включен в его деятельность. В ситуации же неосознаваемого семантического прайминга не только связь прайма с целью, но и сам прайм является скрытым от субъекта, что исключает возможность субъектного взаимодействия с ним испытуемого.

В классической процедуре фиксации установки воздействию подвержено центральное для решаемой испытуемым задачи отношение (закрепляется переживание различий между двумя объектами по некоторому признаку, которое сохраняется в течение некоторого времени и влияет на точность ответа при сравнении одинаковых объектов по тому же признаку «больше»–«меньше»), а в экспериментальной парадигме прайминга эффект достигается через актуализацию связи прайма и целевого стимула, которая может быть irrelevantна решаемой в отношении цели задаче (обращение к семантическому окружению некоторого понятия изменяет скорость или точность решения разнообразных задач — названия, лексического решения, семантической категоризации или других). Исключение можно найти в исследовании В.В. Григолавы (1978), в котором в установочных пробах испытуемый получал по классической схеме для сравнения шары, слабо различающиеся по объему, но сравнивал их по материалу, из которого они были сделаны. В контрольном опыте инструкция менялась, и от испытуемого требовалось сравнить шары по объему. Несмотря на то, что в установочных опытах отсутствовало указание на различие шаров по объему, в контрольном опыте наблюдалась иллюзия контраста. Автор изящно обходит возможную критику об источнике установки в случае, когда у испытуемого отсутствует потребность в сравнении объектов по объему вплоть до критического опыта, — он сам задает себе этот вопрос и находит, что «по-видимому, субъект в каждый конкретный момент обладает потребностью разобраться в ситуации и оценить ее без участия сознания на уровне установки» (там же, с. 128).

Далее рассмотрим общую процедуру получения неосознаваемого семантического прайминга с точки зрения представлений о видах установки.

На макроуровне обнаруживаются установки, характерные для ситуации любого эксперимента. Имеются в виду смысловая установка испытуемого по отношению к ситуации эксперимента и заданию в целом, связанная

с мотивационным уровнем регуляции деятельности, и целевая установка, связанная с принятием инструкции, а именно установка на выполнение задания, готовность воспринять стимуляцию определенного типа, проанализировать ее в соответствии с требуемым критерием и дать ответ. Такого рода установки необходимы для успешного выполнения любого задания и отражают его понимание и принятие испытуемым. На данном уровне невозможно выявить специфику именно неосознаваемого семантического прайминга.

Каждое из указанных действий в отдельности должно осуществляться под влиянием соответствующих операциональных установок: куда смотреть, что делать со стимулами, как давать ответ в данных условиях. Эти установки не специфичны в отношении проб с нейтральными и значащими праймами, а действуют на всем протяжении выполнения задания, будучи зафиксированы в первых пробах серии (для этой цели в начале эксперимента проводится тренировочная серия). Так, испытуемый «готов» к восприятию фиксации точки, масок и целевого слова и последующему нажатию на кнопку ответа, что никак не приближает нас к пониманию причин ускорения или замедления ответа в пробах разного типа.

Однако детальное рассмотрение этого состояния готовности позволяет выявить более специфические установки. В каждой пробе у испытуемого формируются установки в отношении стимулов следующей пробы (установка в отношении типа целевого стимула и моторная установка на ответ), которые могут зафиксироваться в случае предъявления последовательности целевых стимулов, требующих одинакового ответа. В этом случае чем больше таких стимулов, тем сильнее установка на восприятие стимула того же типа в следующей пробе, что сказывается на скорости ответа. То же касается случаев, когда последовательность проб не является случайной и может быть выявлена закономерность смены стимулов, требующих разного ответа. Однако по отношению к прайминг-эффектам данные установки выступают в роли помех.

Описанная система установок связана, прежде всего, с актуальной структурой деятельности, которая осуществляется испытуемым как целым, как личностью — это он интерпретирует и выполняет задание, это его ожидания и предвосхищения, планирование ответа и переживания по поводу точного или неточного выполнения задания определенным образом представлены в сознании. То есть формирование системы установок как связующего звена между актуальными потребностями и ситуацией, несмотря на недоступность этих установок сознанию испытуемого, происходит через призму сознательного опыта личности. Праймы, не доступные сознательному восприятию испытуемого, не являются частью субъективного представления экспериментальной ситуации. Может ли их действие все же быть объяснено установками?

На языке исследований неосознаваемого семантического прайминга этот вопрос ставится следующим образом: возникает ли наблюдаемый эффект в результате обработки праймов на семантическом уровне (то есть влияние прайма заключается в ускорении семантической обработки целевого слова, собственно

semantic priming) или же испытуемый тренируется отвечать определенным образом на стимулы определенного типа, и эффект имеет чисто моторную природу (прайминг ответа, response priming — понятие, наиболее близкое к представлению об установках)? Можно найти исследования, свидетельствующие в пользу существования как одного, так и другого механизма: в ситуации, когда набор стимулов невелик и одни и те же стимулы неоднократно проходят категоризацию, а также используются в качестве маскируемых праймов (то есть в ходе эксперимента фактически обрабатываются пары стимул-реакция), результаты говорят о наличии прайминга ответа (см. обсуждение в Naccache, Dehaene, 2001). Однако прайминг-эффект также обнаруживается при использовании большого набора стимулов, одни из которых выступают только в виде целей, а другие — только в виде праймов, и в этом смысле являются «новыми» (во всяком случае, эти стимулы не используются в качестве целей до того, как послужат праймами в предшествующих пробах) (Kiesel et al., 2007; Van den Bussche et al., 2009). Обработка праймов вплоть до семантического уровня подтверждается в том числе электрофизиологическими данными (Kiefer et al., 2015). Реализация установки не требует анализа значений праймов, что исключает возможность объяснения эффекта неосознаваемого семантического прайминга действием операциональных моторных установок.

Эффекты фиксации установки в процедуре неосознаваемого семантического прайминга специально изучались в серии экспериментов Р. Абрамса и А. Гринвальда (Abrams, Greenwald, 2000; Abrams et al., 2002). Примечательно, что ни одно из возможных англоязычных обозначений установки при этом не упоминается. Опираясь на данные литературы и своих исследований, авторы замечают, что эффект неосознаваемого семантического прайминга оказывается гораздо больше по величине и легче воспроизводится в том случае, если испытуемые проходят предварительную серию проб, в ходе которой осознанно решают задачу категоризации относительно стимулов, которые выступают в качестве неосознаваемых праймов в основной экспериментальной серии. В работе 2000 года авторы использовали прием, который заключается в том, что в качестве праймов используются слова и псевдослова (грамматически допустимые, но лишённые смысла наборы букв), образованные из частей слов-целей, в отношении которых перед этим неоднократно решалась задача семантической категоризации по основанию «приятное»-«неприятное». Эмоциональная валентность слов-праймов была всегда противоположна валентности слов-доноров (например, “**tumor**”/«опухоль» = “**tulip**”/«тюльпан» + “**humor**”/«юмор»). Таким образом, из гипотезы о семантическом механизме прайминг-эффекта в данном случае следовало, что прайм **tumor** будет увеличивать время реакции на слова положительной эмоциональной валентности, а из гипотезы о роли предварительной категоризации (установки) — что уменьшать. В результате для всех типов праймов было получено ускорение категоризации цели после предъявления прайма, образованного из «слов-доноров» той же

эмоциональной валентности, что и цель, и замедление категоризации цели после предъявления прайма, образованного из слов другой валентности. Однако в работе 2002 года та же группа авторов показала, что обнаруженный эффект скорее связан с неосознаваемой категоризацией праймов, а не с чисто моторными ассоциациями⁷.

Подобная совокупность результатов позволяет предположить, что формирование установки, запускаемой праймами, возможно только при условии, что установка могла быть предварительно зафиксирована на тех же стимулах в качестве целей при неоднократном повторении реакции на них и в процессе фиксации установки стимулы были доступны осознанному восприятию.

Количество разнообразных моделей для объяснения собственно эффектов неосознаваемого семантического прайминга, основанных на семантической переработке, велико, но можно выделить несколько примеров. Так, возможно, что в каждой пробе происходит категоризация прайма в соответствии с задачей, сразу после чего происходит запуск ответной реакции, что приводит к ускорению ответа на целевой стимул, когда он требует того же ответа, что и прайм, по сравнению с условием, когда целевое слово и прайм требуют разных ответов. Здесь есть место для переноса на прайм установок, связанных с целевыми стимулами и критерием их категоризации, то есть установок, идущих от задачи. Другое объяснение связано с классическими представлениями о распространении активации, то есть предполагается, что происходит ускорение не ответа, а семантической переработки целевого слова за счет общего с праймом семантического контекста, а это процессы, не доступные обсуждению в терминах установки (Van den Bussche et al., 2012). Третий подход к объяснению прайминг-эффекта предполагает обратную оценку соответствия прайма целевому стимулу после опознания целевого стимула (de Wit, Kinoshita, 2014).

Рассмотрим подробнее эмпирические свидетельства возможности влияния на прайминг-эффекты установок, идущих от задачи. В экспериментах Д. Экштейн и В. Перриг (Eckstein, Perrig, 2007) перед испытуемыми стояла задача категоризации одного и того же набора целевых слов по основанию «приятное» – «неприятное» и/или по основанию «живое» – «неживое»; в качестве замаскированных праймов также выступали слова из этих категорий, которые в контексте задачи могли соответствовать или не соответствовать категории целевого слова (например, прайм «ребенок» соответствует слову «радость» по эмоциональной окраске и слову «змея» — по признаку одушевленности, но не наоборот). Значимый прайминг-эффект был получен при условии соответствия типа прайма задаче. Аналогичный результат был получен в модифицированном варианте эксперимента. Однако, как отмечают сами авторы, некоторые сомнения вызывает эффективность маскировки праймов, то есть часть праймов могла до некоторой степени преодолеть порог сознания.

⁷ Обсуждение этого и ряда других исследований в контексте различных моделей прайминга, в том числе теории воплощенной семантики (embodied semantics), представлено в работе Р. Боттини и коллег (Bottini et al., 2016).

Тот факт, что при осознании прайма на глубину его переработки и, соответственно, вызываемый им эффект осознаваемого семантического прайминга можно влиять путем введения дополнительной задачи в отношении самого прайма (prime-task), был продемонстрирован в более ранних исследованиях. Например, может использоваться задача поиска в прайме целевой буквы, так называемая низкоуровневая задача, которая апеллирует к долексическим характеристикам стимула, или задача лексического решения или семантической категоризации — высокоуровневые задачи, решение которых требует обработки стимула вплоть до уровня значений. Так, Дж. Штольц и Д. Беснер показали, что обнаруженное в ряде работ снижение или полное исчезновение эффекта неосознаваемого семантического прайминга при использовании низкоуровневых задач в отношении прайма может быть преодолено, если предъявление целевой буквы отложить на 200 мс после предъявления прайма или перемешать в рамках одного блока пробы как с одновременным, так и с отсроченным предъявлением целевой буквы (Stolz, Besner, 1996). То есть установка внимания на низкоуровневые характеристики прайма не отменяет его опознания вплоть до уровня значений. Этот вывод подкрепляют результаты исследования с регистрацией вызванных потенциалов, которое провели П. Мари-Бейфа с коллегами. Им удалось показать, что в процессе решения задачи как поиска в прайме целевой буквы, так и семантической категоризации («живое»-«неживое») присутствует компонент, чувствительный к семантической категории прайма (recognition potential). Но также было обнаружено, что более поздний «семантический» компонент (N400) подвержен влиянию задачи в отношении прайма, причем различия обнаруживаются и при обработке праймов и при обработке целевых слов, то есть быструю автоматическую семантическую переработку можно отделить от семантического прайминга. Авторы предполагают, что существует поздний механизм подавления семантической активации, которая не соответствует решаемой задаче, что и приводит к ослаблению эффекта семантического прайминга, когда в отношении прайма решается низкоуровневая задача (Marí-Beffa et al., 2005).

О гибком характере семантических прайминг-эффектов и их подверженности влиянию задачи свидетельствуют также результаты исследований на материале неосознаваемого семантического прайминга, которое провели У. Мартенс с коллегами (Martens et al., 2011). В одном из экспериментов испытуемые выполняли задачу лексического решения в условиях неосознаваемого семантического прайминга, а в другом — задачу зрительно-моторной координации, где в ответ на предъявление определенной геометрической фигуры было необходимо давать ответ нажатием кнопки либо левой, либо правой рукой, а в качестве праймов также предъявлялись геометрические фигуры. Перед началом предъявления замаскированного прайма испытуемому в каждой пробе предъявлялся объект для решения одной из установочных задач: категоризация по основанию «живое»-«неживое», либо определение формы объекта как вытянутой или округлой. Кроме того, в обоих экспериментах варьировалась

задержка между ответом в установочной задаче и началом предъявления прайма (200 или 800 мс). Результаты обоих экспериментов показали значимый положительный прайминг-эффект при задержке в 200 мс только при условии соответствия между установочной задачей и основной, то есть прайминг-эффект в задаче лексического решения был получен при условии категоризации установочного стимула по основанию «живое»-«неживое», но не по форме, а прайминг-эффект в задаче моторной категоризации в соответствии с формой целевого объекта — наоборот. При длинной задержке (800 мс) прайминг-эффект был получен в обоих экспериментах после решения установочной задачи на форму. Авторы видят в этих результатах пример того, как механизмы внимания оптимизируют неосознаваемые процессы переработки информации в соответствии с актуальными целями (“attentional sensitization”) и считают постулируемый механизм универсальным для объяснения широкого класса явлений когнитивной и эмоциональной переработки информации (Kiefer et al., 2012). Несмотря на то, что в работах данной исследовательской группы не упоминаются понятия «субъект», «личность» и «состояние готовности», возникает стойкое ощущение сходства идеи нисходящего контроля внимания и настройки познавательной системы с понятием установки в теории Д. Н. Узнадзе (тем более сильное, что авторы говорят о предполагаемой универсальности постулируемых механизмов).

Описанные выше исследования позволяют с уверенностью утверждать, что влияние на прайминг-эффекты различных настроек задачи в рамках процедуры неосознаваемого семантического прайминга, фактически — целевых и операциональных установок действующего субъекта, — возможно. Многообразие разработанных исследовательских процедур открывает богатые перспективы для дальнейших исследований, а отсутствие единого подхода к объяснению выявляемых эффектов указывает на то, что интеграция полученного знания в данной области исследований еще не произошла.

Выводы

Проблему прайминга и установки не имеет смысла рассматривать как спор о терминах: границы обоих понятий размыты и в настоящее время они употребляются свободно по отношению к широкому кругу явлений, в том числе как синонимы. Поэтому выбор, какой терминологии придерживаться, должен оставаться за исследователем и отвечать его теоретическим и методическим запросам.

Аргументы для разделения установки и неосознаваемого семантического прайминга как состояния сводятся к двум измерениям — роли сознания в их возникновении и отношении к деятельности/поведению, в котором они проявляются. Для возникновения установки необходимо осознанное восприятие субъектом (а) ситуации и ее требований, что и определяет субъектность установок смыслового и целевого уровней, и (б) объектов, отношение между которыми подлежит фиксации, если речь идет о фиксированных

установках. Для индукции прайминга осознанное восприятие источника воздействия не требуется, однако то, насколько глубоко прайм будет обработан, определяется задачей, контекстом, в котором происходит переработка, то есть теми установками, для возникновения которых критично осознанное восприятие задачи и ее требований. Можно сказать, что установки в большей степени определяют то, *какое* именно действие будет осуществлено, в то время как неосознаваемый семантический прайминг в большей степени проявляется в форме изменения параметров выполнения действия, влияет на то, *как* действие реализуется.

Представляется возможным использование процедуры неосознаваемого семантического прайминга для исследования установок, как и уже вошедшее в исследовательскую практику использование процедуры формирования установок (прежде всего, целевых) для исследования процессов, обеспечивающих возникновение прайминг-эффектов. При таком подходе, несмотря на наличие искушений рассматривать прайминг-эффект как разновидность установки, целесообразно все же выделять его в качестве отдельного экспериментального феномена, который может эффективно использоваться для разных исследовательских задач.

Когнитивные архитектуры, на которых основаны модели семантического прайминга, оказываются более разработанными и обладающими большим потенциалом в описании конкретных механизмов возникновения и развития как установок, так и прайминга, чем рассмотрение установок на общетеоретическом уровне в рамках типологий, разработанных в теории установки Д. Н. Узнадзе и деятельностном подходе в школе А. Н. Леонтьева. В то же время представляется, что идея типологии установок, в свою очередь, могла бы существенным образом помочь систематизировать обсуждение нисходящих влияний на процессы обработки информации, и в том числе влияний со стороны выполняемой человеком задачи на семантический прайминг.

Литература

- Андерсон Д. Когнитивная психология. Санкт-Петербург: Питер, 2002.
- Анохин П. К. Очерки по физиологии функциональных систем. Москва: Медицина, 1975.
- Арбекова О. А. Влияние установок на формирование зрительного образа в условиях инверсии: дисс. ... канд. психол. наук. Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, 2016.
- Аронсон Э. Общественное животное. Введение в социальную психологию. Москва: Аспект Пресс, 1998.
- Асмолов А. Г. Деятельность и установка. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979.
- Асмолов А. Г. По ту сторону сознания: методологические проблемы неклассической психологии. Москва: Смысл, 2002.
- Ахутина Т. В. Нейролингвистический анализ лексики, семантики и прагматики. М.: Языки славянской культуры, 2014.
- Ахутина Т. В., Каширская Е. В. Нейропсихологический анализ индивидуальных особенностей переработки лексической информации // Вопросы психологии. 2000. № 3. С. 93 – 101.

- Баиндурашвили А. Г. К вопросу о первичности установки // Дмитрий Николаевич Узнадзе — классик советской психологии. Сборник, посвященный 100-летию со дня рождения Д. Н. Узнадзе / Под ред. В. Л. Какабадзе. Тбилиси, Грузия: Мецниереба, 1986. С. 63 – 72.
- Бэддели А. Ваша память. Руководство по тренировке и развитию. Москва: ЭКСМО-Пресс, 2001.
- Васильюк Ф. Е. Методологический анализ в психологии. Москва: Смысл, 2003.
- Величковский Б. М. Современная когнитивная психология. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1982.
- Величковский Б. М. Когнитивная наука. Основы психологии познания. В 2-х т. М.: Академия, 2006.
- Вундт В. Очерк психологии. СПб.: Ф. Павленков, 1896.
- Выготский Л. С. Психология развития человека. М.: Смысл, 2005.
- Гиппенрейтер Ю. Б. Введение в общую психологию. Курс лекций. Москва: ЧеРо, 2000.
- Григолава В. В. Контрастная иллюзия, бессознательное и установка // Бессознательное. Природа. Функции. Методы исследования / Под ред. А. С. Прангишвили, А. Е. Шерозия, Ф. В. Бассина. Тбилиси, Грузия: Мецниереба, 1978. С. 123 – 132.
- Гусев А. Н., Садовская Е. А. Влияние установок разного уровня на выраженность феномена слепоты к изменению // Психологические исследования. 2015. Т. 8. № 40. С. 9. URL: <http://www.psystudy.ru/index.php/num/2015v8n40/1117-gusev40.html>.
- Дормашев Ю. Б., Романов В. Я. Психология внимания. Москва: Тривола, 1995.
- Крейк Ф., Локхарт Р. С. Уровни обработки и подход П. И. Зинченко к исследованию памяти // Культурно-историческая психология. 2009. № 2. С. 14 – 18.
- Мещеряков Б. Г. Мнемические эффекты П. И. Зинченко // Культурно-историческая психология. 2009. № 2. С. 5 – 13.
- Мещеряков Б. Г., Гизатуллин М. М. Оценки аттрактивности лиц в условиях аффективного прайминга // Лицо человека как средство общения: междисциплинарный подход / Под ред. В. А. Барабанщикова, А. А. Демидова, Д. А. Дивеева. М.: Когито-Центр, 2012. С. 69 – 76.
- Надирашвили Ш. А. Закономерности формирования и действия установок различных уровней // Бессознательное. Природа. Функции. Методы исследования / Под ред. А. С. Прангишвили, А. Е. Шерозия, Ф. В. Бассина. Тбилиси, Грузия: Мецниереба, 1978. С. 111 – 122.
- Надирашвили Ш. А. Дмитрий Николаевич Узнадзе (к 100-летию со дня рождения) // Вопросы психологии. 1986а. № 6. С. 87 – 94.
- Надирашвили Ш. А. Основные положения общепсихологической теории установки // Дмитрий Николаевич Узнадзе — классик советской психологии. Сборник, посвященный 100-летию со дня рождения Д. Н. Узнадзе / Под ред. В. Л. Какабадзе. Тбилиси, Грузия: Мецниереба, 1986б. С. 208 – 224.
- Норакидзе В. Г. Свойства личности и фиксированная установка // Вопросы психологии. 1983. № 5. С. 130 – 136.
- Сарджеладзе Н. И. Бессознательное и понятие установки в концепции Д. Н. Узнадзе // Вопросы психологии. 1985. № 4. С. 114 – 120.
- Соколов Е. Н. Нервная модель стимула и ориентировочный рефлекс // Вопросы психологии. 1960. № 4. С. 61 – 72.
- Стиридонов В. Ф., Абисалова Е. А. Изменение показателей креативности с помощью семантического прайминга // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2012. Т. 9. № 3. С. 122 – 130.
- Тухтеева Н. Х. Влияние иррелевантных параметров задач на эффект установки (на примере эффектов Лачинса и Узнадзе): дисс. ... канд. психол. наук. Санкт-Петербургский государственный университет, СПб., 2013.
- Тухтеева Н. Х. Влияние типов изменения иррелевантных параметров задач на эффект установки // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 12. Социология. 2014. № 3. С. 41 – 48.
- Узнадзе Д. Н. Общая психология / Под ред. И. В. Имададзе. М., СПб.: Смысл, Питер, 2004.
- Узнадзе Д. Н. Психологические исследования. Москва: Наука, 1966.
- Узнадзе Д. Н. Психология установки. М., СПб.: Питер, 2001.
- Фаликман М. В., Койфман А. Я. Виды прайминг-эффектов в исследованиях восприятия и перцептивного внимания // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2005. № 3. С. 86 – 97.
- Фаликман М. В., Койфман А. Я. Виды прайминг-эффектов в исследованиях восприятия и перцептивного внимания // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2005. № 4. С. 81 – 90.
- Федорова А. А. Может ли положительный подпороговый прайминг препятствовать решению инсайтных задач? // Вестник Ярославского государственного университета им. П. Г. Демидова. Серия гуманитарные науки. 2014. № 3. С. 76 – 80.
- Филиппова М. Г. Восприятие без осознания и целесообразность его участия в психодиагностическом исследовании // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 12. 2008. Т. 2. С. 101 – 108.
- Филиппова М. Г. Неосознаваемая двойственность изображений: экспериментальные проявления негативного выбора // Петербургский психологический журнал. 2016. № 16. С. 1 – 22.
- Харрис Р. Психология массовой коммуникации. СПб.: Прайм-Еврознак, 2002.
- Ядов В. А. и др. Саморегуляция и прогнозирование социального поведения личности: Диспозиционная концепция / Под ред. В. А. Ядова. М.: ЦСПиМ, 2013. URL: <https://publications.hse.ru/books/97145809>.
- Большой психологический словарь / Под ред. Б. Г. Мещерякова, В. П. Зинченко. Москва: ОЛМА-ПРЕСС, прайм-ЕВРОЗНАК, 2003.
- Abrams R. L., Greenwald A. G. Parts outweigh the whole (word) in unconscious analysis of meaning // Psychological Science. 2000. Vol. 11. No. 2. P. 118 – 124. doi:10.1111/1467-9280.00226
- Abrams R. L., Klinger M. R., Greenwald A. G. Subliminal words activate semantic categories (not automated motor responses) // Psychonomic Bulletin & Review. 2002. Vol. 9. No. 1. P. 100 – 106. doi:10.3758/BF03196262
- Angelini A. History of the unconscious in Soviet Russia: From its origins to the fall of the Soviet Union // International Journal of Psychoanalysis. 2008. Vol. 89. No. 2. P. 369 – 388. doi:10.1111/j.1745-8315.2008.00020.x
- Baldwin M. W., Carrell S. E., Lopez D. F. Priming relationship schemas: My advisor and the Pope are watching me from the back of my mind // Journal of Experimental Social Psychology. 1990. Vol. 26. No. 5. P. 435 – 454. doi:10.1016/0022-1031(90)90068-w
- Bottini R., Bucur M., Crepaldi D. The nature of semantic priming by subliminal spatial words: Embodied or disembodied? // Journal of Experimental Psychology. General. 2016. Vol. 145. No. 9. P. 1160 – 1176. doi:10.1037/xge0000197
- Buchner A., Zabal A., Mayr S. Auditory, visual, and cross-modal negative priming // Psychonomic Bulletin and Review. 2003. Vol. 10. No. 4. P. 917 – 923. doi:10.3758/bf03196552
- Chua F. K., Goh J., Kek G. Priming within the 'Attentional Blink' in an RSVP task // Perception. 1996. Vol. 25. No. 1\suppl. P. 26 – 26. doi:10.1068/v96p0306
- Collins A. M., Loftus E. F. A spreading-activation theory of semantic processing // Psychological Review. 1975. Vol. 82. No. 6. P. 407 – 428. doi:10.1037//0033-295x.82.6.407
- Collins A. M., Quillian M. R. Retrieval time from semantic memory // Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior. 1969. Vol. 8. No. 2. P. 240 – 248. doi:10.1016/s0022-5371(69)80069-1
- Dalozzo J., Signoret C., Tillmann B., Perrin F. Subliminal semantic priming in speech // PLoS ONE. 2011. Vol. 6. No. 5. P. e20273 – e20273. doi:10.1371/journal.pone.0020273
- Dell'Acqua R., Grainger J. Unconscious semantic priming from pictures // Cognition. 1999. Vol. 73. P. B1 – B15. doi:10.1016/s0010-0277(99)00049-9

- Doyen S., Klein O., Simons D., Cleeremans A. On the other side of the mirror: Priming in cognitive and social psychology // *Social Cognition*. 2014. Vol. 32. P. 12–32. doi:10.1521/soco.2014.32.suppl.12
- Eckstein D., Perrig W.J. The influence of intention on masked priming: A study with semantic classification of words // *Cognition*. 2007. Vol. 104. No. 2. P. 345–376. doi:10.1016/j.cognition.2006.07.005
- Janiszewski C., Wyer R.S. Content and process priming: A review // *Journal of Consumer Psychology*. 2014. Vol. 24. No. 1. P. 96–118. doi:10.1016/j.jcps.2013.05.006
- Janzen H.L., Chairoman T.O.M., Boersma F.J. A developmental analysis of set patterns in children: A normative study // Annual Meeting of the American Educational Research Association (San Francisco, California, April 19–23, 1976). 1976. P. 3–33.
- Ketchuashvili G. Dmitry Uznadze (1886–1950) // PROSPECTS: the quarterly review of comparative education. 1994. Vol. 24. No. 3/4. P. 687–701.
- Kiefer M., Adams S., Zovko M. Attentional sensitization of unconscious visual processing: Top-down influences on masked priming // *Advances in Cognitive Psychology*. 2012. Vol. 8. No. 1. P. 50–61. doi:10.2478/v10053-008-0102-4
- Kiefer M., Sim E.-J., Wentura D. Boundary conditions for the influence of unfamiliar non-target primes in unconscious evaluative priming: The moderating role of attentional task sets // *Consciousness and Cognition*. 2015. Vol. 35. P. 342–356. doi:10.1016/j.concog.2015.01.010
- Kiesel A., Kunde W., Hoffmann J. Mechanisms of subliminal response priming // *Advances in Cognitive Psychology*. 2008. Vol. 3. No. 1–2. P. 307–315. doi:10.2478/v10053-008-0032-1
- King D.B., Wertheimer M. Max Wertheimer and Gestalt Theory. Transaction Publishers, 2005. doi:10.5860/choice.43-1256
- Kokinov B. Associative memory-based reasoning: Some experimental results // Proceedings of the 12th Annual Conference of the Cognitive Science Society. Hillsdale, NJ, 1990. P. 741–749.
- Lange L. New experiments on the process of the simple reaction to sensory impressions [Neue Experimente über den Vorgang der einfachen Reaction auf Sinneseindrücke] // *Philosophische Studien*. 1888. Vol. 4. P. 479–510. URL: <http://psychclassics.yorku.ca/LangeL/NewExperiments.pdf>.
- Luchins A.S. Mechanization in problem solving: The effect of Einstellung // *Psychological Monographs*. 1942. Vol. 54. No. 6. P. i–95. doi:10.1037/h0093502
- Makashvili K.D. Anticipation in Uznadze's theory of set and some findings in applied psychology // *Anticipation: Learning from the past. The Russian/Soviet contributions to the science of anticipation* / M. Nadin (Ed.). Springer, 2015. P. 493–506.
- Mari-Beffa P., Valdés B., Cullen D.J., Catena A., Houghton G. ERP analyses of task effects on semantic processing from words // *Cognitive Brain Research*. 2005. Vol. 23. No. 2–3. P. 293–305. doi:10.1016/j.cogbrainres.2004.10.016
- Martens U., Ansorge U., Kiefer M. Controlling the unconscious attentional task sets modulate subliminal semantic and visuomotor processes differentially // *Psychological Science*. 2011. Vol. 22. No. 2. P. 282–291. doi:10.1177/0956797610397056
- McLeish J. *Soviet psychology: History, theory, content*. Routledge, 2015.
- McNamara T.P. *Semantic priming: Perspectives from memory and word recognition (Essays in cognitive psychology)*. New York and Hove: Psychology Press, 2005.
- Meyer D.E., Schvaneveldt R.W. Facilitation in recognizing pairs of words: evidence of a dependence between retrieval operations // *Journal of Experimental Psychology*. 1971. Vol. 90. No. 2. P. 227–234. doi:10.1037/h0031564
- Molden D.C. Understanding priming effects in social psychology: What is “social priming” and how does it occur? // *Social Cognition*. 2014. Vol. 32. No. Supplement. P. 1–11. doi:10.1521/soco.2014.32.suppl.1
- Murphy S.T., Zajonc R.B. Affect, cognition, and awareness: Affective priming with optimal and suboptimal stimulus exposures // *Journal of Personality and Social Psychology*. 1993. Vol. 64. No. 5. P. 723–739. doi:10.1037//0022-3514.64.5.723
- Naccache L., Dehaene S. Unconscious semantic priming extends to novel unseen stimuli // *Cognition*. 2001. Vol. 80. No. 3. P. 215–229. doi:10.1016/S0010-0277(00)00139-6
- Perea M., Rosa E. The effects of associative and semantic priming in the lexical decision task // *Psychological Research*. 2002. Vol. 66. No. 3. P. 180–194. doi:10.1007/s00426-002-0086-5
- Piaget J., Lambercier M. Essai sur un effet d'Einstellung survenant au cours de perceptions visuelles (effet Usnadze) [Essay on the Set Effect in the Course of Visual Perception (the Uznadze Effect)] // *Archives de Psychologie (Geneva)*. 1944. Vol. 30. No. 118. P. 139–196.
- Plaut D.C., Booth J.R. Individual and developmental differences in semantic priming: Empirical and computational support for a single-mechanism account of lexical processing // *Psychological Review*. 2000. Vol. 107. No. 4. P. 786–823. doi:10.1037//0033-295x.107.4.786
- Plaut D.C., McClelland J.L. Locating object knowledge in the brain: Comment on Bowers's (2009) attempt to revive the grandmother cell hypothesis // *Psychological Review*. 2010. Vol. 117. No. 1. P. 284–288.
- Quillian M.R. Word concepts: A theory and simulation of some basic semantic capabilities // *Behavioral Science*. 1967. Vol. 12. No. 5. P. 410–430. doi:10.1002/bs.3830120511
- Radel R., Sarrazin P., Pelletier L. Evidence of subliminally primed motivational orientations: The effects of unconscious motivational processes on the performance of a new motor task // *Journal of Sport and Exercise Psychology*. 2009. Vol. 31. No. 5. P. 657–674. doi:10.1123/jsep.31.5.657
- Rogers T.T., McClelland J.L. *Semantics without categorization // Formal approaches to categorization* / E.M. Pothos, A.J. Wills (Eds.). Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2011. P. 88–119.
- Rosch E. Cognitive representations of semantic categories // *Journal of Experimental Psychology: General*. 1975. Vol. 104. No. 3. P. 192–233. doi:10.1037/0096-3445.104.3.192
- Simon H.A. Otto Selz and information-processing psychology // *Otto Selz: His contribution to psychology* / N.H. Frijda, A. deGroot (Eds.). The Hague: Mouton Publisher, 1981. P. 147–163.
- Sowa J.F. *Semantic networks // Encyclopedia of artificial intelligence* / S.C. Shapiro (Ed.). New York: Wiley, 1992. P. 1493–1511. URL: <http://www.jfsowa.com/pubs/semnet.pdf>.
- Stolz J.A., Besner D. Role of set in visual word recognition: Activation and activation blocking as nonautomatic processes // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1996. Vol. 22. No. 5. P. 1166–1177. doi:10.1037/0096-1523.22.5.1166
- Van den Bussche E., Smets K., Sasanguie D., Reynvoet B. The power of unconscious semantic processing: The effect of semantic relatedness between prime and target on subliminal priming // *Psychologica Belgica*. 2012. Vol. 52. No. 1. P. 59–70. doi:10.5334/pb-52-1-59
- Van den Bussche E., Van den Noortgate W., Reynvoet B. Mechanisms of masked priming: A meta-analysis // *Psychological Bulletin*. 2009. Vol. 135. No. 3. P. 452–477. doi:10.1037/a0015329
- de Wit B., Kinoshita S. The masked semantic priming effect is task dependent: Reconsidering the automatic spreading activation process // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2015. Vol. 41. No. 4. P. 1062–1075. doi:10.1037/xlm0000074

research papers: theory

Set and Unconscious Semantic Priming: Two Different Labels or Two Distinct Phenomena?

Alexandra Y. Koyfman

Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. A central idea in the research by Dmitry Uznadze is the theory of set, which describes an internal state of readiness, or preparation for certain acts or perceptions. The present paper attempts to compare set with unconscious semantic priming, one of the most important research topics in cognitive science. Extensive definitions and descriptions of set and priming and their types/levels are presented. Set theory and models of unconscious semantic priming are briefly discussed. Specific characteristics of set and priming as internal states and as experimental paradigms are laid out, along with the effects of these procedures. The results of comparison indicate that, although it may be tempting for psychologists to think of the priming effect as a variant of set, it should instead be considered a distinct experimental phenomenon, suitable for use in experimental studies. A review of the empirical research appears to suggest that the unconscious semantic priming effect is susceptible to the influence of different levels of set. The paper argues that, in perspective, the two theories can be mutually enriched.

Correspondence: Alexandra Y. Koyfman, skoyfman@gmail.com; 11/9 Mokhovaya st., 125009 Moscow, Russia

Keywords: Dmitry Uznadze, Uznadze effect, Einstellung, set, set theory, priming, unconscious semantic priming, subliminal priming

Copyright © 2016. Alexandra Y. Koyfman. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) (CC BY), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the original author is credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice.

Received 22 November 2016.

References

- Abrams, R. L., & Greenwald, A. G. (2000). Parts outweigh the whole (word) in unconscious analysis of meaning. *Psychological Science*, 11(2), 118–124. doi:10.1111/1467-9280.00226
- Abrams, R. L., Klinger, M. R., & Greenwald, A. G. (2002). Subliminal words activate semantic categories (not automated motor responses). *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(1), 100–106. doi:10.3758/BF03196262
- Akhutina, T. V. (2014). *Neirolingvisticheskii analiz leksiki, semantiki i pragmatiki [Neurolinguistic analysis of lexics, semantics and pragmatics]*. Moscow: Iazyki slavianskoi kultury. (In Russian).
- Akhutina, T. V., & Kashirskaya, E. V. (2000). Neiropsikhologicheskii analiz individualnykh osobennostei pererabotki leksicheskoi informatsii [Neuropsychological analysis of individual differences in lexical processing]. *Voprosy Psikhologii*, (3), 93–101. (In Russian).
- Anderson, J. R. (1990). *Cognitive psychology and its implications*, Vol. XVI. New York: Freeman/Times Books/Henry Holt & Co.
- Angelini, A. (2008). History of the unconscious in Soviet Russia: From its origins to the fall of the Soviet Union. *International Journal of Psychoanalysis*, 89(2), 369–388. doi:10.1111/j.1745-8315.2008.00020.x
- Anokhin, P. K. (1975). *Essays on the physiology of functional systems*. Moscow: Meditsina. (In Russian).
- Arbekova, O. A. (2016). *Vliianie ustanovok na formirovanie zritel'nogo obraza v usloviakh inversii [Influence of the set on the percept formation in visual inversion]*. Unpublished doctoral dissertation, Lomonosov Moscow State University. (In Russian).
- Aronson, E. (1991). *The social animal*. New York: Freeman.
- Asmolov, A. G. (1979). *Activity and set*. Moscow: Moscow State University. (In Russian).
- Asmolov, A. G. (2002). *Po tu storonu soznaniia: metodologicheskie problemy neklassicheskoi psikhologii [Beyond consciousness: methodological problems of nonclassical psychology]*. Moscow: Smysl. (In Russian).
- Baddeley, A. (1982). *Your memory, a user's guide*. New York: Macmillan.
- Baindurashvili, A. G. (1986). K voprosu o pervichnosti ustanovki [On the primary nature of the set]. In V. L. Kakabadze (Ed.), *Bessoznatelnoe. Privoda. Funktsii. Metody issledovaniia [The Unconscious, Its nature, functions and methods to study]* (pp. 63–72). Tbilisi, Georgia: Metcniereba. (In Russian).
- Baldwin, M. W., Carrell, S. E., & Lopez, D. F. (1990). Priming relationship schemas: My advisor and the Pope are watching me from the back of my mind. *Journal of Experimental Social Psychology*, 26(5), 435–454. doi:10.1016/0022-1031(90)90068-w

- Bottini, R., Bucur, M., & Crepaldi, D. (2016). The nature of semantic priming by subliminal spatial words: Embodied or disembodied? *Journal of Experimental Psychology: General*, 145(9), 1160–1176. doi:10.1037/xge0000197
- Buchner, A., Zabal, A., & Mayr, S. (2003). Auditory, visual, and cross-modal negative priming. *Psychonomic Bulletin and Review*, 10(4), 917–923. doi:10.3758/bf03196552
- Chua, F.K., Goh, J., & Kek, G. (1996). Priming within the 'Attentional Blink' in an RSVP task. *Perception*, 25(1\suppl), 26–26. doi:10.1068/v96p0306
- Collins, A.M., & Loftus, E.F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407–428. doi:10.1037//0033-295x.82.6.407
- Collins, A.M., & Quillian, M.R. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8(2), 240–248. doi:10.1016/s0022-5371(69)80069-1
- Craik, F.I.M., & Lockhart, R.S. (2008). Levels of processing and Zinchenko's approach to memory research. *Journal of Russian and East European Psychology*, 46(6), 52–60. doi:10.2753/RPO1061-0405460605
- Daltrozzo, J., Signoret, C., Tillmann, B., & Perrin, F. (2011). Subliminal semantic priming in speech. *PLoS ONE*, 6(5), e20273–e20273. doi:10.1371/journal.pone.0020273
- Dell'Acqua, R., & Grainger, J. (1999). Unconscious semantic priming from pictures. *Cognition*, 73, B1–B15. doi:10.1016/s0010-0277(99)00049-9
- Dormashev, Y.B., & Romanov, V.Y. (1995). *The psychology of attention*. Moscow: Trivola. (In Russian).
- Doyen, S., Klein, O., Simons, D., & Cleeremans, A. (2014). On the other side of the mirror: Priming in cognitive and social psychology. *Social Cognition*, 32, 12–32. doi:10.1521/soco.2014.32.supp.12
- Eckstein, D., & Perrig, W.J. (2007). The influence of intention on masked priming: A study with semantic classification of words. *Cognition*, 104(2), 345–376. doi:10.1016/j.cognition.2006.07.005
- Falikman, M.V., & Koyfman, A.Y. (2005). Vidy praiming-effektov v issledovaniyah vospriyatya y perceptivnogo vnimaniya [Typology of priming effects in research on perception and attention]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Series 14: Psikhologiya [Moscow University Psychology Bulletin]*, 2005(3), 86–97. (In Russian).
- Falikman, M.V., & Koyfman, A.Y. (2005). Vidy praiming-effektov v issledovaniyah vospriyatya y perceptivnogo vnimaniya [Typology of priming effects in research on perception and attention]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Series 14: Psikhologiya [Moscow University Psychology Bulletin]*, 2005(4), 81–90. (In Russian).
- Fedorova, A.A. (2014). [Could positive subliminal priming inhibit insight problem solving?] *Vestnik Yaroslavskogo Gudarstvennogo Universiteta im. P. G. Demidova. Seriya Gumanitarnye Nauki [P.G. Demidov Yaroslavl State University Bulletin. Humanities]*, (3), 76–80. (In Russian).
- Filippova, M.G. (2008). [The perception without awareness and expediency of its participation in psychodiagnostics research]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Seriya 12. Sociologiya [Saint-Petersburg University Bulletin. Series 12. Sociology]*, 2, 101–108. (In Russian).
- Filippova, M.G. (2016). Unconscious ambiguity of images: Experimental manifestation of negative selection. *Peterburgskii Psikhologicheskii Zhurnal [Saint Petersburg Psychological Journal]*, (16), 1–22. (In Russian).
- Gippenreiter, Y.B. (2000). *Vvedenie v obshchuyu psihologiyu: kurs lektsiy [Introduction to General Psychology: A course of lectures]*. Moscow: CheRO. (In Russian).
- Grigolava, V.V. (1978). Kontrastnaia illiuziia, besoznatelnoe i ustanovka [Contrast effect, the unconscious and the set]. In A.S. Prangishvili, A.E. Sheroziya, & F.V. Bassin (Eds.), *Besoznatelnoe. Priroda. Funktsii. Metody issledovaniia [The Unconscious, Its nature, functions and methods to study]*, Vol. I. (pp. 123–132). Tbilisi, Georgia: Metcniereba. (In Russian).
- Gusev, A.N., & Sadovskaya, E.A. (2015). The influence of different levels sets on change blandness manifestation. *Psikhologicheskie Issledovaniya*, 8(40), 9–9. (In Russian). Retrieved from <http://www.psystudy.ru/index.php/num/2015v8n40/1117-gusev40.html>.
- Harris, R.J., & Sanborn, F.W. (2013). *A cognitive psychology of mass communication*. USA, Canada: Routledge.
- Janiszewski, C., & Wyer, R.S. (2014). Content and process priming: A review. *Journal of Consumer Psychology*, 24(1), 96–118. doi:10.1016/j.jcps.2013.05.006
- Janzen, H.L., Chairman, T.O.M., & Boersma, F.J. (1976). A developmental analysis of set patterns in children: A normative study. In *Annual Meeting of the American Educational Research Association (San Francisco, California, April 19-23, 1976)* (pp. 3–33).
- Ketchuashvili, G. (1994). Dmitry Uznadze (1886-1950). *PROSPECTS: the quarterly review of comparative education*, 24(3/4), 687–701.
- Kiefer, M., Adams, S., & Zovko, M. (2012). Attentional sensitization of unconscious visual processing: Top-down influences on masked priming. *Advances in Cognitive Psychology*, 8(1), 50–61. doi:10.2478/v10053-008-0102-4
- Kiefer, M., Sim, E.-J., & Wentura, D. (2015). Boundary conditions for the influence of unfamiliar non-target primes in unconscious evaluative priming: The moderating role of attentional task sets. *Consciousness and Cognition*, 35, 342–356. doi:10.1016/j.concog.2015.01.010
- Kiesel, A., Kunde, W., & Hoffmann, J. (2008). Mechanisms of subliminal response priming. *Advances in Cognitive Psychology*, 3(1-2), 307–315. doi:10.2478/v10053-008-0032-1
- King, D.B., & Wertheimer, M. (2005). *Max Wertheimer and Gestalt Theory*. Transaction Publishers. doi:10.5860/choice.43-1256
- Kokinov, B. (1990). Associative memory-based reasoning: Some experimental results. In *Proceedings of the 12th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 741–749). Hillsdale, NJ.
- Lange, L. (1888). New experiments on the process of the simple reaction to sensory impressions [Neue Experimente über den Vorgang der einfachen Reaction auf Sinneseindrücke]. *Philosophische Studien*, 4, 479–510. Translated by Lee, David D., 2009. Retrieved from <http://psychclassics.yorku.ca/LangeL/NewExperiments.pdf>.
- Luchins, A.S. (1942). Mechanization in problem solving: The effect of Einstellung. *Psychological Monographs*, 54(6), i–95. doi:10.1037/h0093502
- Makashvili, K.D. (2015). Anticipation in Uznadze's theory of set and some findings in applied psychology. In M. Nadin (Ed.), *Anticipation: Learning from the past. The Russian/Soviet contributions to the science of anticipation*, Vol. 25. (pp. 493–506). Springer.
- Mari-Beffa, P., Valdés, B., Cullen, D.J., Catena, A., & Houghton, G. (2005). ERP analyses of task effects on semantic processing from words. *Cognitive Brain Research*, 23(2–3), 293–305. doi:10.1016/j.cogbrainres.2004.10.016
- Martens, U., Ansoorge, U., & Kiefer, M. (2011). Controlling the unconscious attentional task sets modulate subliminal semantic and visuomotor processes differentially. *Psychological Science*, 22(2), 282–291. doi:10.1177/0956797610397056
- McLeish, J. (2015). *Soviet psychology: History, theory, content*. Routledge.
- McNamara, T.P. (2005). *Semantic priming: Perspectives from memory and word recognition (Essays in cognitive psychology)*. New York and Hove: Psychology Press.
- Meshcheryakov, B.G. (2008). The mnemonic effects of P.I. Zinchenko. *Journal of Russian and East European Psychology*, 46(6), 15–40. (In Russian). doi:10.2753/rpo1061-0405460602
- Meshcheryakov, B.G., & Gizatullin, M.M. (2012). Otcenki attrakivnosti litc v usloviakh affektivnogo praiminga [Judgements on face attractiveness under affective priming]. In V.A. Barabanshchikov, A.A. Demidov, & D.A. Diveev (Eds.), *Litso cheloveka kak sredstvo obshcheniya: mezhdistsiplinarnyi podkhod [Person's face as a means of knowing: interdisciplinary approach]* (pp. 69–76). Moscow: Cogito Center. (In Russian).

- Meshcheryakov, B. G., & Zinchenko, V. P. (Eds.). (2003). *Large psychological dictionary*. Moscow: Prain-Evroznak. (In Russian).
- Meyer, D. E., & Schvaneveldt, R. W. (1971). Facilitation in recognizing pairs of words: Evidence of a dependence between retrieval operations. *Journal of Experimental Psychology*, 90(2), 227–234. doi:10.1037/h0031564
- Molden, D. C. (2014). Understanding priming effects in social psychology: What is “social priming” and how does it occur? *Social Cognition*, 32(Supplement), 1–11. doi:10.1521/soco.2014.32.supp.1
- Murphy, S. T., & Zajonc, R. B. (1993). Affect, cognition, and awareness: Affective priming with optimal and suboptimal stimulus exposures. *Journal of Personality and Social Psychology*, 64(5), 723–739. doi:10.1037//0022-3514.64.5.723
- Naccache, L., & Dehaene, S. (2001). Unconscious semantic priming extends to novel unseen stimuli. *Cognition*, 80(3), 215–229. doi:10.1016/S0010-0277(00)00139-6
- Nadirashvili, S. A. (1978). Zakonomernosti formirovaniia i deistviia ustanovok razlichnykh urovnei [Regularities in formation and actualization of sets of different level]. In A. S. Prangishvili, A. E. Sheroziya, & F. V. Bassin (Eds.), *Bessoznatelnoe. Priroda. Funkcii. Metody issledovaniia [The Unconscious, Its nature, functions and methods to study]*, Vol. I. (pp. 111–122). Tbilisi, Georgia: Metcniereba. (In Russian).
- Nadirashvili, S. A. (1986a). Osnovnye polozeniia obshchepsikhologicheskoi teorii ustanovki [Prime postulates of the theory of set in general psychology]. In V. L. Kakabadze (Ed.), *Dmitrii Nikolaevich Uznadze — klassik sovetской psikhologii. Sbornik, posviashchennyi 100-letiiu so dnia rozhdeniia D.N. Uznadze [Dmitrii Nikolaevich Uznadze, a classic of the Soviet psychology. A collection devoted to the 100th anniversary of D. N. Uznadze]* (pp. 208–224). Tbilisi, Georgia: Metcniereba. (In Russian).
- Nadirashvili, S. A. (1986b). Uznadze, Dmitrii Nikolaevich (to the 100th anniversary). *Voprosy Psikhologii*, (6), 87–94. (In Russian).
- Norakidze, V. G. (1983). Personality traits and fixed set. *Voprosy Psikhologii*, (5), 130–136. (In Russian).
- Perea, M., & Rosa, E. (2002). The effects of associative and semantic priming in the lexical decision task. *Psychological Research*, 66(3), 180–194. doi:10.1007/s00426-002-0086-5
- Piaget, J., & Lambercier, M. (1944). Essai sur un effet d'Einstellung survenant au cours de perceptions visuelles (effet Uznadze) [Essay on the set effect in the course of visual perception (the Uznadze effect)]. *Archives de Psychologie (Geneva)*, 30(118), 139–196.
- Plaut, D. C., & Booth, J. R. (2000). Individual and developmental differences in semantic priming: Empirical and computational support for a single-mechanism account of lexical processing. *Psychological Review*, 107(4), 786–823. doi:10.1037//0033-295x.107.4.786
- Plaut, D. C., & McClelland, J. L. (2010). Locating object knowledge in the brain: Comment on Bowers's (2009) attempt to revive the grandmother cell hypothesis. *Psychological Review*, 117(1), 284–288.
- Quillian, M. R. (1967). Word concepts: A theory and simulation of some basic semantic capabilities. *Behavioral Science*, 12(5), 410–430. doi:10.1002/bs.3830120511
- Radel, R., Sarrazin, P., & Pelletier, L. (2009). Evidence of subliminally primed motivational orientations: The effects of unconscious motivational processes on the performance of a new motor task. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 31(5), 657–674. doi:10.1123/jsep.31.5.657
- Rogers, T. T., & McClelland, J. L. (2011). Semantics without categorization. In E. M. Pothos, & A. J. Wills (Eds.), *Formal approaches to categorization* (pp. 88–119). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Rosch, E. (1975). Cognitive representations of semantic categories. *Journal of Experimental Psychology: General*, 104(3), 192–233. doi:10.1037/0096-3445.104.3.192
- Sardzhveladze, N. I. (1985). [The unconscious and the concept of set in DN Uznadze's conception]. *Voprosy Psikhologii*, (4), 114–120. (In Russian).
- Simon, H. A. (1981). Otto Selz and information-processing psychology. In N. H. Frijda, & A. deGroot (Eds.), *Otto Selz: His contribution to psychology* (pp. 147–163). The Hague: Mouton Publisher.
- Sokolov, E. N. (1960). Nervnaia model stimula i orientirovochnyi refleks [Neural model of the stimulus and orienting reflex]. *Voprosy Psikhologii*, (4), 61–72. (In Russian).
- Sowa, J. F. (1992). Semantic networks. In S. C. Shapiro (Ed.), *Encyclopedia of artificial intelligence* (pp. 1493–1511). New York: Wiley. Retrieved from <http://www.jfsowa.com/pubs/semnet.pdf>.
- Spiridonov, V. F., & Abisalova, E. A. (2012). Izmenenie pokazatelei kreativnosti s pomoshch'yu semanticheskogo praiminga [Changes in creativity indices as a result of semantic priming]. *Psychology Journal of Higher School of Economics*, 9(3), 122–130. (In Russian).
- Stolz, J. A., & Besner, D. (1996). Role of set in visual word recognition: Activation and activation blocking as nonautomatic processes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(5), 1166–1177. doi:10.1037/0096-1523.22.5.1166
- Tukhtieva, N. K. (2013). Vliianie irrelevantnykh parametrov zadach na effekt ustanovki (na primere effektov Lachinsa i Uznadze) [Influence of irrelevant parameters in tasks on the Einstellung effect (taken Luchins effect and Uznadze effect as examples)]. Unpublished doctoral dissertation, Saint-Petersburg State University. (In Russian).
- Tukhtieva, N. K. (2014). Influence of types of change the irrelevant parameters of task on Einstellung effect. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Seriya 12. Sotsiologiya [Saint-Petersburg University Bulletin. Series 12. Sociology]*, (3), 41–48. (In Russian).
- Uznadze, D. N. (2004). [General psychology]. Moscow, Saint Petersburg: Smysl, Piter. (In Russian).
- Uznadze, D. N. (1966). *Psychological research*. Moscow: Nauka. (In Russian).
- Uznadze, D. N. (1966). *The psychology of set*. New York: Plenum. (In Russian).
- Van den Bussche, E., Smets, K., Sasanguie, D., & Reynvoet, B. (2012). The power of unconscious semantic processing: The effect of semantic relatedness between prime and target on subliminal priming. *Psychologica Belgica*, 52(1), 59–70. doi:10.5334/pb-52-1-59
- Van den Bussche, E., Van den Noortgate, W., & Reynvoet, B. (2009). Mechanisms of masked priming: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 135(3), 452–477. doi:10.1037/a0015329
- Vasiliuk, F. E. (2003). *Metodologicheskii analiz v psikhologii [Methodological analysis in psychology]*. Moscow: Smysl. (In Russian).
- Velichkovsky, B. M. (1982). *Modern cognitive psychology*. Moscow: Moscow State University. (In Russian).
- Velichkovsky, B. M. (2006). *Kognitivnaya nauka: Osnovy psikhologii poznaniya [Cognitive science: Foundations of cognitive psychology]*. Moscow: Academia. (In Russian).
- Vygotsky, L. S. (1982). Istoricheski smysl psikhologicheskogo krizisa. Metodologicheskoje issledovaniye [Historical meaning of the crisis in psychology. A methodological study]. In L. S. Vygotsky. *Sobranije sochinenii [Collected works of L. S. Vygotsky]*. Vol. 1 (pp. 291–436). Moscow: Pedagogika. (In Russian).
- de Wit, B., & Kinoshita, S. (2015). The masked semantic priming effect is task dependent: Reconsidering the automatic spreading activation process. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(4), 1062–1075. doi:10.1037/xlm0000074
- Wundt, W. M. (1897). *Outlines of psychology*. Leipzig, Germany: W. Engelmann.
- Yadov, V. A. (Ed.). (2013). *Self-regulation and prediction of social behavior of a personality: dispositional concept*. Moscow: CSPiM. (In Russian). Retrieved from <https://publications.hse.ru/books/97145809>.

ДИСКУССИЯ

Размышления над проблемой сопоставления двух парадигм и «доличностным уровнем» прайминга

КОММЕНТАРИЙ К СТАТЬЕ А. Я. КОЙФМАН «УСТАНОВКА И НЕОСОЗНАВАЕМЫЙ СЕМАНТИЧЕСКИЙ ПРАЙМИНГ: РАЗНЫЕ ТЕРМИНЫ ИЛИ РАЗНЫЕ ФЕНОМЕНЫ?»

Маргарита Георгиевна Филиппова

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Обсуждается возможность сопоставления родственных понятий, разработанных в двух разных парадигмах с использованием независимой третьей парадигмы. В качестве примера такой независимой парадигмы рассматривается концепция сознания В. М. Аллахвердова. Осуществляется попытка перевода с языков теории установки и теорий семантической памяти на общий язык концепции сознания, что представляется удобным для сопоставления понятий установки и прайминга. Также приводятся соображения о том, почему прайминг имеет непосредственное отношение к личности воспринимающего в противовес утверждению автора статьи о доличностном уровне прайминга.

Контактная информация: Маргарита Георгиевна Филиппова, box4fox@yandex.ru; 199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, факультет психологии СПбГУ.

Ключевые слова: прайминг, негативный выбор, позитивный выбор, имплицитный ассоциативный тест, ИАТ

© 2016 Маргарита Георгиевна Филиппова. Данная статья доступна по лицензии [Creative Commons "Attribution" \(«Атрибуция»\) 4.0. всемирная](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), согласно которой возможно неограниченное распространение и воспроизведение этой статьи на любых носителях при условии указания автора и ссылки на исходную публикацию статьи в данном журнале в соответствии с канонами научного цитирования.

Благодарности. Финансовая поддержка: РГНФ, № проекта 16-06-00858а.

Поставив перед собой задачу сопоставления понятий установки и прайминга, автор статьи затронула острую проблему. Оба понятия отражают досознательные механизмы принятия решений, обеспечивающие состояния специфической готовности. И на первый взгляд кажется очевидным, что по своей сути они очень близки друг другу. Но с другой стороны, кажется очевидным и то, что данные понятия не являются взаимозаменяемыми, слишком уж разными путями шли к ним представители деятельностной / установочной и когнитивной парадигм, при разработке уделяя внимание разным аспектам и используя зачастую несопоставимую терминологию. Отсюда и наиболее существенная сложность — как сравнить несопоставимое, осуществив теоретический анализ обоих понятий на одном языке?

Сопоставление двух парадигм посредством третьей

Мне представляется, что переводу с одного языка на другой помог бы выбор третьей теории, с точки зрения которой сравниваемые понятия могли бы быть рассмотрены как частные случаи. Ниже я постараюсь проиллюстрировать сказанное, используя для разведения установки и прайминга независимую от них парадигму. Как мне видится, для этой цели удачно подходит концепция сознания В. М. Аллахвердова (1993, 2000). Вкратце суть этой концепции состоит в том, что еще до осознания воспринимаемого объекта необходимо принятие специального решения о том, что именно осознать. Причем подобное решение

необходимо как в отношении того, что будет осознано (позитивный выбор), так и в отношении того, что осознано не будет (негативный выбор). Поскольку это решение неосознаваемое, то непосредственно переживать мы его не можем, но зато о нем можно судить по эмпирически наблюдаемым эффектам последствия, которые в рассматриваемой парадигме также разделяются на последствие позитивного и негативного выбора. Последствие позитивного выбора проявляется в повторном осознании того, что ранее уже было осознано, а последствие негативного выбора — в повторном неосознании того, что раньше осознано не было.

На мой взгляд, процессы осознания, на которых делается акцент в данной концепции, находятся под прямым влиянием прайминга и установок, в свою очередь определяющих специфику образования ассоциативных связей. В экспериментальных условиях установочной парадигмы или парадигмы прайминга позитивный и негативный выбор будут проявляться ускорением обработки позитивно выбранных элементов и, напротив, замедлением обработки или, если это позволят условия задачи, даже игнорированием негативно выбранных элементов.

Итак, с точки зрения концепции В.М. Аллахвердова, и прайминг, и установка могли бы быть отнесены к эффектам последствия ранее принятых неосознаваемых решений. В этом их сходство. Однако исследования установки направлены скорее на изучение последствия решения об осознании, или, пользуясь терминологией рассматриваемой концепции, позитивного выбора, и, как правило, не имеют отношения к решению вопроса о возможности отвержения какого-либо определенного ответа (то есть негативного выбора).

Прайминг же может быть как позитивным, так и негативным. Негативный прайминг-эффект часто наблюдается в исследованиях многозначности. Так, например, обнаружен негативный прайминг-эффект, состоящий в снижении эффективности обработки стимулов, связанных с неосознанными значениями слов-омонимов (например, Marcel, 1980; Tipper, Driver, 1985) и двойственных изображений, то есть таких рисунков, которые могут быть с равной вероятностью отнесены к одному из двух классов объектов (Filipova, 2011; Филиппова, 2016). Исследователями многозначности предполагается, что негативный прайминг-эффект является следствием торможения альтернативных репрезентаций в системе переработки информации, которые необходимо подавлять для обеспечения однозначной ясности сознательного опыта (например, Tipper, 2001; Tal, Bar, 2014). Независимо от Аллахвердова эти исследователи признают возможность неосознаваемого принятия решения об осознании, предполагая, что «незамеченные» значения должны каким-то специальным образом маркироваться. Так, например, А. Таль и М. Бар видят роль, предписанную неосознаваемому решению об осознании, в быстром устранении конкуренции будущему явному ответу со стороны множества неявных активаций (Tal, Bar, 2014). Такое положение дел подразумевает необходимость активного подавления неуместных значений, проявляющегося их неосознанием. Также и негативный выбор в концепции

Аллахвердова предполагает, что неосознаваемые значения не просто отсутствуют в сознании, но и активно подавляются им (вообще, негативный выбор имеет отношение не только к многозначности, но именно на многозначном материале проявляется наиболее ярко). К последствию негативного выбора (или решения о неосознании), на мой взгляд, имеет отношение и прайминг в отличие от установки. Иными словами, тогда как установка связана только с последствием позитивного выбора, прайминг может быть связан с последствием как позитивного, так и негативного выбора. Получается, что с точки зрения выбранной концепции проявления установки и прайминга расходятся в случае негативного выбора и сходятся в случае позитивного выбора.

Вот примерный способ, предлагаемый мной для осуществления перевода с одного языка на другой, необходимый для сопоставления понятий, разработанных в разных парадигмах.

Является ли прайминг доличностным?

Второй момент, который мне хотелось бы затронуть в своем обсуждении рассматриваемой статьи, — это вопрос об отношении прайминга к личности воспринимающего. Автор статьи видит одно из основных отличий установки и прайминга в том, что установка непосредственно связана с личностью (автор использует выражение «личностная отнесенность установки»), тогда как прайминг, согласно мнению автора, «остается на доличностном уровне». И поскольку при этом подчеркивается связь установки с мотивационно-потребностной сферой личности, я предполагаю, что под доличностным уровнем прайминга подразумевается, что прайминг не имеет отношения к мотивационно-потребностной сфере. На мой же взгляд, прайминг в такой же мере связан с мотивационно-потребностной сферой личности, в какой и установка. Представления о «доличностном» характере могли закрепиться за праймингом ввиду особенностей традиционно используемой экспериментальной процедуры, подразумевающей фиксацию общих закономерностей и избегающей обращения к индивидуальным различиям. Однако сам феномен, лежащий в основе прайминга, объясняет принципы образования ассоциаций и чувствителен, несомненно, также и к индивидуальным различиям, что мне представляется важным и недостаточно исследованным. Недаром этот эффект с успехом используется в различных исследовательских и диагностических техниках (зачастую, правда, и без прямого упоминания). Например, разработанный в 1998 году психологом Э. Гринвальдом с коллегами ИмPLICITный ассоциативный тест (ИАТ; *англ.* — The Implicit Association Test, IAT) используется для установления наличия индивидуальных ассоциативных связей между различными понятиями (Greenwald et al., 1998). Поскольку этот тест имеет дело с автоматическими (сознательно не контролируемые) процессами, то, по сравнению с методами оценки явных установок, ИАТ имеет определенные преимущества, сводя к миниму-

му возможность испытуемых влиять на результаты исследования, например давать социально-желательные ответы. Известны исследования с использованием ИАТ, направленные на выявление латентных предубеждений, которые в обычной беседе люди пытаются скрыть, таких, например, как гомофобия или расизм. Если во время прохождения теста испытуемый европеоидной расы быстро ассоциирует, скажем, портреты людей негроидной расы с отрицательными понятиями, то можно сделать вывод о том, что он предпочитает людей своей расы. По существу, этот остроумный прием основан на эффекте прайминга: анализируя время классификации испытуемым двух понятий в одну искусственно заданную категорию, исследователи вновь имеют дело со скоростью ассоциативных реакций. Несмотря на отсутствие как такового «прайма» в ИАТ скорость обработки пары понятий так же, как в процедурах выявления прайминг-эффектов, зависит от наличия у субъекта ассоциации между этими понятиями, только на этот раз в фокус внимания исследователей попадает индивидуальная составляющая. Этот прием успешно использовался группой психологов факультета психологии СПбГУ для диагностики основных потребностей человека (Мирошников и др., 2011). Если же с использованием эффекта прайминга можно изучать потребности, это является свидетельством того, что прайминг захватывает и мотивационно-потребностную сферу личности.

Таким образом, как фиксация достигнутого ранее результата, отражающегося затем в активации и торможении определенных ассоциативных связей, прайминг может представлять собой универсальный объясняющий принцип функционирования психической ре-

альности. А утверждение автора о том, что за всеми проявлениями психической жизни личности можно усмотреть действие установки, с тем же успехом может быть отнесено и к праймингу.

Литература

- Аллахвердов В. М. Опыт теоретической психологии. СПб.: Печатный двор, 1993.
- Аллахвердов В. М. Сознание как парадокс. СПб: ДНК, 2000.
- Мирошников С. А., Иванова А. Е., Михайлова Е. Л., Плехотина О. Д., Филиппова М. Г., Рыжухин А. В., Чернов Р. В. Методические материалы к программному комплексу для психологических исследований. СПб.: ЛЕМА, 2011.
- Филиппова М. Г. Неосознаваемая двойственность изображений: экспериментальные проявления негативного выбора // Петербургский психологический журнал. 2016. №16. С. 1–22.
- Filippova M. G. Does unconscious information affect cognitive activity? A study using experimental priming // The Spanish Journal of Psychology. 2011. Vol. 14. No.01. P. 20–36. [doi:10.5209/rev_sjop.2011.v14.n1.2](https://doi.org/10.5209/rev_sjop.2011.v14.n1.2)
- Greenwald A. G., McGhee D. E., Schwartz J. L. K. Measuring individual differences in implicit cognition: The implicit association test // Journal of Personality and Social Psychology. 1998. Vol. 74. No. 6. P. 1464–1480. [doi:10.1037/0022-3514.74.6.1464](https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.6.1464)
- Marcel A. J. Selective effects of prior context on perception // Anticipation and behaviour / J. Requin (Ed.). Centre national de la recherche scientifique, 1980. P. 412–430.
- Tal A., Bar M. The proactive brain and the fate of dead hypotheses // Frontiers in Computational Neuroscience. 2014. Vol. 8. P. 139: 1–6. [doi:10.3389/fncom.2014.00138](https://doi.org/10.3389/fncom.2014.00138)
- Tipper S. P. Does negative priming reflect inhibitory mechanisms? A review and integration of conflicting views // The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A. 2001. Vol. 54. No. 2. P. 321–343. [doi:10.1080/02724980042000183](https://doi.org/10.1080/02724980042000183)

discussion

Comparing Two Paradigms and the “Prepersonal Level” of Priming

COMMENTS ON A. KOYFMAN'S “SET AND UNCONSCIOUS SEMANTIC PRIMING: TWO DIFFERENT LABELS OR TWO DISTINCT PHENOMENA?”

Margarita G. Filippova

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Abstract. This commentary discusses an option for comparing two related concepts, developed in two different paradigms, by using an independent third paradigm. Taking Allakhverdov's theory of consciousness as an example of the independent paradigm, an attempt is made to translate from one language to another what is necessary for matching the concepts of set and priming. We also consider how priming might be directly related to personality, as opposed to the ‘prepersonal’ level of priming discussed by the author of the target article.

Correspondence: Margarita G. Filippova, box4fox@yandex.ru, Faculty of Psychology, Saint Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russia

Keywords: priming, negative choice, positive choice, Implicit Association Test (IAT)

Copyright © 2016. Margarita G. Filippova. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#) (CC BY), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the original author is credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice.

Acknowledgements. Financial support: Russian Humanitarian Scientific Fund, № 16-06-00858a.

References

- Allakhverdov, V. M. (1993). *Opyt teoreticheskoi psikhologii [Experience of theoretical psychology]*. Saint Petersburg: Pechatny dvor. (In Russian).
- Allakhverdov, V. M. (2000). *Soznanie kak paradoks [Consciousness as paradox]*. Saint Petersburg: DNK. (In Russian).
- Filippova, M. G. (2011). Does unconscious information affect cognitive activity? A study using experimental priming. *The Spanish Journal of Psychology*, 14(01), 20–36. [doi:10.5209/rev_sjop.2011.v14.n1.2](https://doi.org/10.5209/rev_sjop.2011.v14.n1.2)
- Filippova, M. G. (2016). Unconscious ambiguity of images: Experimental manifestation of negative selection. *Peterburgskii psikhologicheskii zhurnal [Saint Petersburg Psychological Journal]*, (16), 1–22. (In Russian).
- Greenwald, A. G., McGhee, D. E., & Schwartz, J. L. K. (1998). Measuring individual differences in implicit cognition: The implicit association test. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(6), 1464–1480. [doi:10.1037/0022-3514.74.6.1464](https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.6.1464)
- Marcel, A. J. (1980). Selective effects of prior context on perception. In J. Requin (Ed.), *Anticipation and behaviour* (pp. 412–430). Centre national de la recherche scientifique.
- Miroshnikov, S., Ivanova, A. E., Mikhailova, E. L., Plakhotina, O. D., Filippova, M. G., Ryzhukhin, A. V., & Chernov, R. V. (2011). *Metodicheskie materialy k programmnomu kompleksu dlja psikhologicheskikh issledovanij [Guidance materials for the software package for psychological research]*. Saint Petersburg: LEMA. (In Russian).
- Tal, A., & Bar, M. (2014). The proactive brain and the fate of dead hypotheses. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 8 (139: 1–6). [doi:10.3389/fncom.2014.00138](https://doi.org/10.3389/fncom.2014.00138)
- Tipper, S. P. (2001). Does negative priming reflect inhibitory mechanisms? A review and integration of conflicting views. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 54(2), 321–343. [doi:10.1080/02724980042000183](https://doi.org/10.1080/02724980042000183)

Летняя школа молодых ученых памяти Карла Дункера «Теоретические и прикладные проблемы когнитивной психологии»

Вячеслав Иванов

Технологический Университет Эйндховена, Эйндховен, Нидерланды

Никита Логинов

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия

Аннотация. Летняя школа молодых ученых памяти Карла Дункера «Теоретические и прикладные проблемы когнитивной психологии», или Дункеровская школа, ежегодно проходит в Подмоскowie в августе-сентябре. Она сочетает два формата: конференция по экспериментальным когнитивным исследованиям и собственно школа, образовательное событие для студентов и аспирантов. Авторы как регулярные участники предлагают описание Дункеровской школы на примере школы 2016 года и свой взгляд на ее ценность для исследовательского сообщества.

Контактная информация: Вячеслав Иванов, vivanov@tue.nl, Eindhoven University of Technology, De Zaale, 5612 AG Eindhoven, Netherlands; Никита Логинов, lognikita@yandex.ru, РАНХиГС при Президенте РФ, Институт общественных наук, Факультет психологии, проспект Вернадского, 82, стр. 1, 119571 Москва, Россия.

Ключевые слова: когнитивная психология, летняя школа, психология мышления, Карл Дункер, конференция молодых ученых, обзор конференции

© 2016 Вячеслав Иванов, Никита Логинов. Данная статья доступна по лицензии [Creative Commons "Attribution" \(«Атрибуция»\) 4.0. всемирная](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), согласно которой возможно неограниченное распространение и воспроизведение этой статьи на любых носителях при условии указания авторов и ссылки на исходную публикацию статьи в данном журнале в соответствии с канонами научного цитирования.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Владимиру Спиридонову за предоставление фактологической информации об особенностях организации школы, а также Илье Владимирову, Сергею Коровкину и Игорю Уточкину за предоставление отзывов о потенциальной ценности данной летней школы для старших коллег. Также авторы благодарят Дмитрия Люсина за помощь в описании докладов и круглых столов.

Статья поступила в редакцию 25 декабря 2016 г.

Среди событий в России, связанных с когнитивной психологией, относительно немного мероприятий средней величины. Между большой Международной конференцией по когнитивной науке и более локальными семинарами (например, семинар «Великая иллюзия сознания», проводившийся ежегодно с 2011 по 2015 год) есть естественный разрыв. С одной стороны, нужны события достаточно длительные, позволяю-

щие содержательные обсуждения сразу многих научных работ и тем, а с другой — регулярные и доступные. На наш взгляд, Летняя школа молодых ученых памяти Карла Дункера «Теоретические и прикладные проблемы когнитивной психологии», или Дункеровская школа, занимает именно эту нишу. Это выездная школа по экспериментальным исследованиям, принимающая тезисы по любым темам в рамках когнитивной



Фото 1. Общая фотография в последний день школы 2015 года. Фото Владислава Хвостова

психологии. С 2008 года она практически ежегодно собирает 30–40 участников на 4–5 дней в Подмоскowie. В школе, проводившейся с 29 августа по 2 сентября 2016 года, приняли участие 35 человек.

Поскольку одна из декларируемых задач — обучение начинающих исследователей и включение их в более широкое сообщество, подавляющее большинство участников составляют студенты (как бакалавриата, так и магистратуры) и аспиранты психологических факультетов. Помимо длительности, отличие школы от семинаров — в ориентации на начинающих исследователей, наличии образовательного аспекта. По тем же причинам школа более доступна, чем крупные конференции: требования к тезисам адаптированы, чтобы позволять участвовать даже студентам старших курсов (не только в качестве пятого соавтора).

Исторически Дункеровская школа не привязана к конкретной организации и в разные годы проводилась под эгидой факультетов психологии РГУ, НИУ ВШЭ и РАНХиГС. Школы разных лет объединяет команда организаторов во главе с Владимиром Спиридоновым, психологом мышления и нынешним деканом факультета психологии РАНХиГС. Первая школа проходила в 2008 году как выездная конференция для психологов мышления и была названа в честь классического исследователя мышления Карла Дункера. При этом не все доклады и темы оказались связаны именно с психологией мышления и фактически конференция была посвящена когнитивной психологии в целом. Несмотря на это и отчасти благодаря неожиданной широте тематики, и участники, и организаторы оценили школу как удачную. Школа оказалась особенно эффективной для налаживания связей как между отдельными исследователями, так и между научными коллективами из разных городов и с разными областями интереса. В результате тема и название события официально изменились, но посвящение Карлу Дункеру сохранилось как узнаваемое и прижившееся.

С самой первой школы основную часть программы составляют доклады участников, подающих тезисы с описанием завершённой экспериментальной работы. Процедура отбора устроена так же, как на обычных конференциях: каждую работу независимо оценивают два специалиста, авторы дорабатывают тезисы по замечаниям, и решение об отборе принимается по уже обновленным тезисам. Таким способом организаторы контролируют качество работ и дают обратную связь, особенно ценную для исследователей-новичков.



Фото 2. Постерная сессия на школе 2014 года. Фото Вячеслава Иванова.

В 2016 году студенты и аспиранты представили свои работы на небольшой постерной секции (около 30 постеров). Это относительно новый формат для мероприятия, так как на первых школах все участники представляли свои доклады в формате коротких устных выступлений. Однако успешный опыт первой постерной конференции 2011 года «Когнитивная наука в Москве: новые исследования» заставил задуматься о смене или хотя бы об обогащении существующего формата выступлений на очередной школе. Постерные доклады показались чрезвычайно удачными во многом благодаря тому, что время обсуждения постера не так жестко ограничено, как на обычных секциях конференций. Помимо этого, докладчику в процессе рассказа о своем исследовании значительно легче ориентироваться на уровень и бэкграунд того, кто подошел к его постеру, чем на разношерстную аудиторию на обычных конференциях. Появление формата постерных докладов на школе 2013 года было связано с растущим количеством приглашенных докладчиков, что мотивировало организаторов к использованию более компактных по времени постерных сессий.

Начиная со школы 2014 года, для того, чтобы дополнительно стимулировать участников к созданию качественных постеров и повысить общий уровень презентации исследований, научно-благотворительный проект в области когнитивных исследований «Think cognitive, think science» проводит конкурс на лучший постер среди участников летней школы памяти К. Дункера. При подведении итогов учитывается не столько содержание самого исследования, сколько оформление постера.

Третий формат работы — лекции приглашенных специалистов. Здесь тематическое разнообразие максимально, и приветствуются доклады специалистов из смежных областей.

Школа не накладывает ограничения на темы докладов и постеров (кроме общих рамок когнитивных исследований), но в силу того, что многие участники посещают школу регулярно, выделяется несколько наиболее популярных тем. Психология мышления представлена на школе исследованиями процессов решения задач (московская научная группа Владимира Спиридонова и ярославская научная группа Ильи Владимировича и Сергея Коровкина) и механизмов категориального научения (научная группа Алексея и Татьяны Котовых). На каждой школе обсуждается довольно широкий круг тем, связанных с вниманием



Фото 3. Вечерняя программа на школе 2014 года.
Фото Вячеслава Иванова

и восприятием: зрительный поиск, феномены функциональной слепоты, процессы предвнимания и т.д. На школе 2016 года Игорь Уточкин и Елена Горбунова (НИУ ВШЭ) рассказали о современных представлениях о зрительной подсистеме рабочей памяти, а на школе 2015 года Мария Фаликман (МГУ) сделала обзор современных исследований в области психологии внимания в свете бурного развития методов регистрации активности мозга.

Также одной из регулярных тем для школы является психология эмоций, в том числе исследования влияния эмоций на когнитивные процессы и влияния экспрессии на субъективные переживания. В 2015 году участникам запомнился доклад Дмитрия Люсина (ИП РАН) о различиях в переработке нейтральных и эмоциональных стимулов, а также о том, что некоторые исследователи упрощенно подходят к анализу эмоциональной окраски стимулов, не учитывая конкретной модальности эмоций и принимая во внимание только валентность, в то время как, например, отрицательно окрашенные стимулы могут по-разному перерабатываться в зависимости от того, какой именно отрицательной эмоцией они «окрашены». Кроме этого, не всегда выделяется возбуждение как параметр эмоциональной окраски, отличный от валентности. Другие исследователи, корректно анализируя эмоциональную окраску стимулов, не уделяют должного внимания контролю перцептивных характеристик этих стимулов, в результате чего происходит смешение переменных, и получаемые эффекты можно объяснить перцептивными особенностями стимулов с тем же успехом, как и их эмоциональными особенностями. На школе 2014 года особенно выделялся доклад Юнны Кравченко (РГГУ) по серии экспериментальных исследований, результаты которой демонстрировали, что подавление проявления эмоции увеличивает интенсивность переживания телесных ощущений, связанных с этой эмоцией.

В качестве приглашенных докладчиков на школах выступают не только когнитивные психологи. В разные годы на Дункеровские школы приезжали с докладами специалисты из таких смежных областей, как этология (Зоя Зорина), генетика (Светлана Боринская), лингвистика (Светлана Бурлак), аналитическая философия (Дмитрий Иванов), нейроэкономика (Василий Ключарев), нейрофизиология (Екатерина Печенкова), искусственный интеллект (Виктор Финн, Олег Кузнецов). Как правило, это были обзорные доклады, призванные познакомить студентов и коллег из других дисциплин с проблематикой и исследованиями своей области. В 2016 году с такого рода докладом на тему «Проблема феноменального сознания в аналитической философии» выступил аналитический философ Дмитрий Иванов.

Дополнительно к этим основным форматам, на школах периодически проходят круглые столы на широкие темы. В предыдущие годы они посвящались проблеме сознания, психофизической проблеме, проблеме инсайта, проблеме моделей объяснения в психологии мышления, проблеме эволюционных объяснений в когнитивной психологии и т.д. В 2016 году авторам запомнилась дискуссия на круглом столе по исследованиям зрительного поиска. Игорь Уточкин и Елена Горбунова призывали к чистоте экспериментальной парадигмы зрительного поиска — как с точки зрения технических моментов (процедура, обработка, интерпретация показателей), так и с точки зрения общей идеологии (эта парадигма создана и должна использоваться только для изучения низкоуровневых перцептивных явлений). Другие участники дискуссии высказывали мнение, что при корректной реализации технических аспектов эту процедуру можно использовать и в других областях (в частности, Илья Владимиров упоминал в связи с этим область решения мыслительных задач, Максим Морозов говорил о возможности изучения категориальных эффектов на материале зрительного поиска,



Фото 4. Студенты и преподаватели на школе 2015 года.
Фото Александры Луневой

а Дмитрий Люсин — об изучении переработки эмоциональных стимулов). В целом обсуждение по оценкам обеих сторон оказалось чрезвычайно полезным в условиях все большей специализации и изоляции отдельных областей когнитивной психологии.

Поскольку участниками школы являются в основном студенты, также стоит отметить мастер-классы по работе с исследовательскими инструментами и методами. В 2016 году прошел небольшой мастер-класс Дмитрия Люсина по анализу размеров эффекта и мощности и по коррекции на множественные проверки статистической значимости. В прошлые годы состоялись мастер-классы по статистической обработке данных, анализу данных в среде R, методам поиска и работы с информацией, инфраструктуре исследовательской деятельности, представлению результатов психологических исследований (требования APA и визуализация данных) и т. д.

Нововведение Дункеровской школы 2016 года — проектная работа в течение школы для групп студентов, целью которой является создание экспериментального плана одного конкретного исследования по заявленной тематике. Эта идея позаимствована у некоторых международных школ для аспирантов и студентов старших курсов. В ходе проекта студенты осваивают основные навыки, необходимые для проведения исследований в конкретных областях когнитивной науки. Обязательным условием работы подобных групп является возможность обратиться и проконсультироваться по любому вопросу у старших коллег, которые находятся неподалеку и не понаслышке знакомы и с возможными проблемами, и с заявленной тематикой в целом. На Дункеровской школе 2016 года такой тематикой были осознаваемые и неосознаваемые процессы в решении мыслительных задач. Это стало своеобразной реакцией на бурно развивающееся направление исследований критериев осознанности в области имплицитного научения, а идея попробовать применить разработанные критерии осознанности к решению мыслительных задач возникла как дань памяти Карлу Дункеру. Проблематика сознания в 2016 году оказалась магистральной темой школы, что помимо тематики студенческих проектов также проявилось в проведении круглого стола по сознанию и лекции по философии сознания.

Важный компонент школы за пределами программы — налаживание связей в исследовательском сообществе. Традиционными участниками школы можно считать московские научные группы когнитивных

психологов из МГУ, НИУ ВШЭ, РАНХиГС и ИП РАН, а ранее также из РГГУ. Кроме того, регулярно участвуют когнитивные исследователи из СПбГУ (Санкт-Петербург), КГУ им. К.Э. Циолковского (Калуга) и ЯрГУ им. П.Г. Демидова (Ярославль). В разные годы на школу также приезжали участники из Новосибирска, Екатеринбурга, Рязани, Украины и Белоруссии. Благодаря этому разнообразию и участию студентов наравне со старшими исследователями, школа естественным образом становится площадкой для неформального общения.

Помимо традиционных для выездных школ игр в «мафию», «шляпу» и «крокодила», неформальная вечерняя программа позволяет дообсудить темы и работы, не до конца раскрытые в дневное время. На первых школах самой горячей темой была концепция В.М. Аллахвердова и связанные с ней экспериментальные данные, на последних — обсуждение деятельности лабораторий, в которых работают участники и организаторы.

В сумме набор форматов работы на школах достаточно разнообразен, чтобы участники получали ценный опыт независимо от старшинства и области исследований. Опираясь на собранные отзывы участников и собственный опыт, авторы сформулировали, в чем видят ценность школ студенты, с одной стороны, и опытные научные работники — с другой.

Если речь идет о ценности для студентов, то первые полезные результаты появляются уже на начальном этапе, когда желающие принять участие в школе присылают заявку и краткие тезисы с описанием проведенного исследования (или проекта только планирующегося исследования, что допустимо для студентов младших курсов). Опыт самостоятельного написания тезисов сам по себе чрезвычайно важен, поскольку большая часть научной коммуникации проходит именно на конференциях. А для того, чтобы попасть на приличную конференцию, необходимо уметь писать приличные тезисы.

В ответ на свои тезисы потенциальные участники получают подробные рецензии, в которых указано, как можно доработать или улучшить первоначальный текст и само исследование. Такая развернутая обратная связь как раз и позволяет получить необходимые навыки написания тезисов. Процесс рецензирования полностью анонимен. Даже для тех, кто едет на школу не впервые, бывает чрезвычайно полезно получить обратную связь на тезисы от старших коллег, которые проводят исследования в смежных областях и благодаря этому способны подмечать важные детали, незаметные для «замыленного» взгляда. По материалам проведенных школ выпускаются [сборники со статьями](#), которые довольно часто для начинающих свой путь молодых ученых являются пробой пера. Статьи пишутся на основе последней версии тезисов, а также широкого обсуждения доклада на постерных сессиях, устных докладах или в кулуарах в рамках школы.

Помимо этого, сам формат постерных докладов как правило для новых участников школы является неопробованным. На подавляющем большинстве международных конференций проводятся постерные сессии, и поэтому навыки, необходимые для создания

собственного постера и презентации исследования по нему, чрезвычайно важны.

На школе всем ее участникам предоставляются обширные возможности для общения с преподавателями и научными руководителями «без статусов». Предполагается, что перед лицом фундаментальных научных проблем все равны, а это значит, что оригинальную идею или какое-то нетривиальное решение может предложить как профессор, так и студент-второкурсник.

В целом можно сказать, что школа памяти Дункера позволяет довольно быстро интегрироваться в профессиональное сообщество когнитивных психологов. Она помогает сориентироваться в современных и иногда классических исследованиях познания в широком смысле этого слова, познакомиться разом с большим количеством когнитивных психологов (а иногда и не только психологов) разных поколений, обсудить собственные идеи и задумки, но главное — сформировать у подрастающего поколения так называемый научный вкус, то есть способность отличить хорошее исследование от плохого, хорошие книги от плохих, хорошую теорию от плохой, хорошие методы от плохих, а также способность выделять для себя интересные и многообещающие идеи, направления исследований.

При всей значимости для студентов и аспирантов Дункеровская школа высоко ценится также и старшими коллегами, которые выступают на ней в роли либо организаторов, либо приглашенных докладчиков, либо рецензентов (а кому-то эти роли удается и совмещать).

Для уже состоявшихся когнитивных психологов Дункеровская школа важна по многим причинам. Во-первых, школа позволяет им мотивировать своих студентов делать хорошие исследования с тем, чтобы их показать и обсудить. Заодно студенты смогут

увидеть чужие работы, сравнить их со своими и, как следствие, понять, на каком уровне они работают. Во-вторых, школа памяти Дункера выступает в роли некоего знака качества. Если студент или аспирант прошел школу, то в сознании старших коллег он становится на шаг ближе к настоящему академическому сообществу когнитивных исследователей. В-третьих, школа памяти Дункера предоставляет дополнительную возможность встретиться и пообщаться с коллегами-друзьями из других городов. Во многом данная школа является одним из способов сплочения и поддержания профессионального сообщества, включения в него новых членов. В-четвертых, школа памяти Дункера позволяет преодолеть разрыв между поколениями и узнать получше, как выглядят, что из себя представляют и чем интересуются современные молодые ученые. В-пятых, школа памяти Дункера стала своеобразной экспериментальной площадкой, где можно попробовать реализовать новые форматы взаимодействия. В-шестых, школа памяти Дункера является источником новых исследовательских идей и новых совместных проектов у исследователей из разных городов. Ну и наконец, в-седьмых, школу памяти Дункера, по словам некоторых когнитивных психологов, можно считать способом отдыха, когда не нужно думать о рутине и политике, а все время остается на обсуждение содержания и дружеское общение.

Подводя некоторый итог, можно сказать, что школа памяти Дункера за свою чуть менее чем десятилетнюю историю очень сильно повлияла на формирование профессионального сообщества когнитивных психологов и помогла обозначить и позволяет удерживать довольно высокую планку немногочисленных когнитивных исследований в нашей стране.

events in the field

Summer School in Memory of Karl Duncker “Theoretical and Applied Problems of Cognitive Psychology”

Vyacheslav Ivanov

Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Netherlands

Nikita Loginov

Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of Russian Federation, Moscow, Russia

Abstract. The Summer School in Memory of Karl Duncker “Theoretical and Applied Problems of Cognitive Psychology”, or Duncker’s School, is an annual event held in Moscow in August and September. It combines two formats: a conference on experimental cognitive research and the actual school, an educational event for undergraduate and graduate students. The authors, as regular event participants, provide a description of Duncker’s School with highlights from the 2016 edition and their perspective of its value for the Russian research community.

Correspondence: Vyacheslav Ivanov, v.ivanov@tue.nl, Eindhoven University of Technology, De Zaale, 5612 AG Eindhoven, Netherlands; Nikita Loginov, lognikita@yandex.ru, RANEPa under the President of the Russian Federation, School of Public Policy, Department of Psychology, 82 Vernadsky prospect, building 1, Moscow 119571, Russia

Keywords: cognitive psychology, summer school, student conference, psychology of thinking, Karl Duncker, conference summary

Copyright © 2016. Vyacheslav Ivanov, Nikita Loginov. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) (CC BY), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the original authors are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice.

Acknowledgements. The authors are grateful to Vladimir Spiridonov for providing factual information about the organization of the school, and to Ilya Vladimirov, Sergey Korovkin and Igor Utochkin for providing feedback about the potential value of this summer school for academic faculty. The authors also thank Dmitry Lyusin for his help with the description of specific examples of presentations and round tables.

Received 25 December 2016.