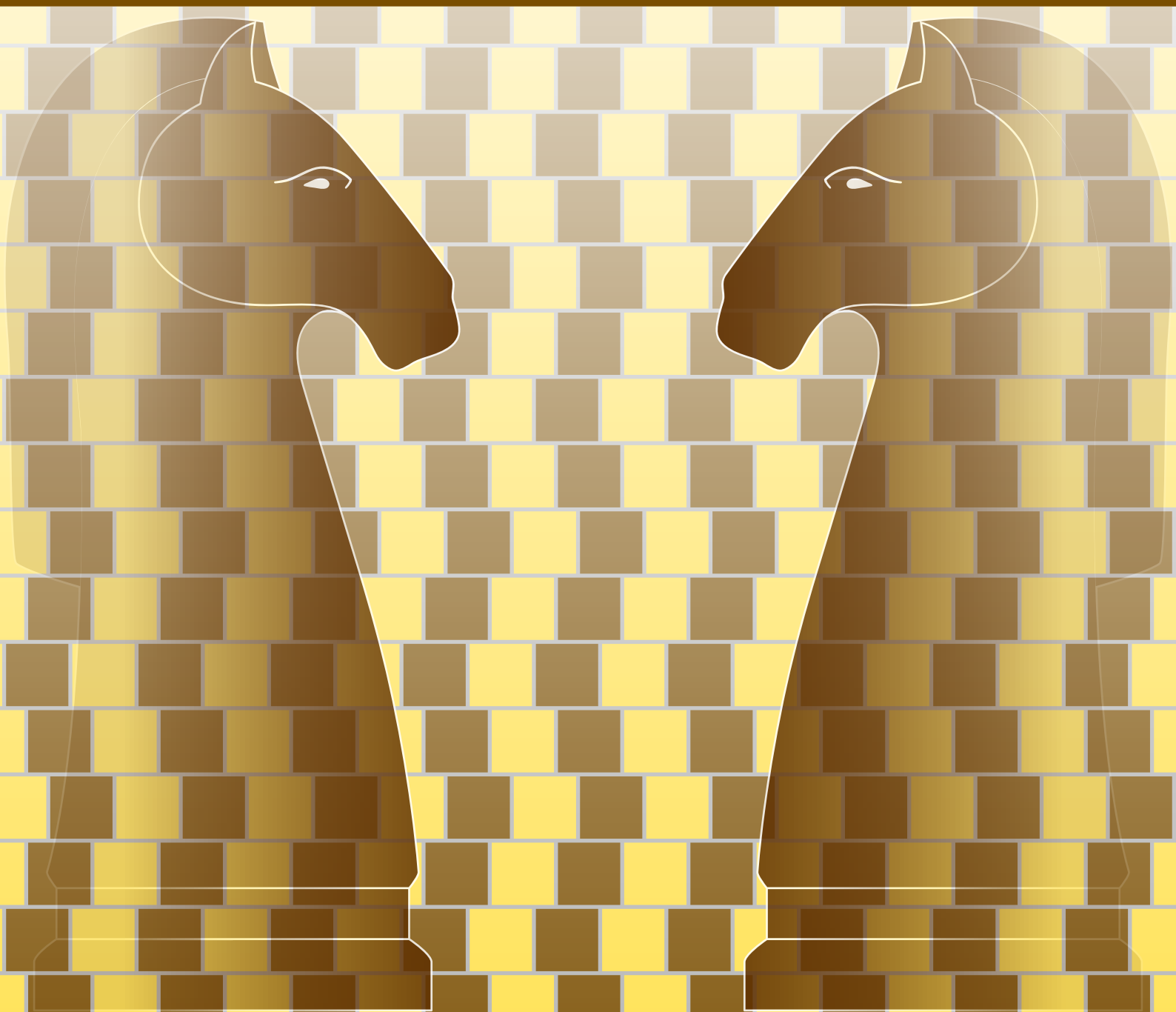


# Российский журнал Когнитивной науки

Том 3  
№ 3  
Сентябрь 2016

[WWW.COGJOURNAL.RU](http://WWW.COGJOURNAL.RU)

ISSN 2313-4518



[WWW.COGJOURNAL.ORG](http://WWW.COGJOURNAL.ORG)

Vol. 3  
No. 3

September 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](mailto: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,

R.I. Machinskaya

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](mailto: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,

Р.И. Мачинская

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

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Editorial (in Russian) ..... | 4 |
|------------------------------|---|

## Research Papers

|   |    |
|---|----|
| Liudmila L. Litvinova, Roza M. Vlasova, Valentin E. Sinitsyn, Ekaterina V. Pechenkova.<br><b>Memory Task Induces a Shift in Lateralization of Amygdala Response to Affective Pictures</b> ..... | 5  |
| Russian version of the paper .....  | 23 |

## Software and Equipment

|   |    |
|---|----|
| Alexander Zhegallo.<br><b>PXLab Software as an Instrument for Eye-Tracking Research Using SMI Eye Trackers</b> (In Russian) ..... | 43 |
| Abstract in English .....   | 56 |

## Review Articles

|   |    |
|---|----|
| Igor S. Utochkin, Maria A. Yurevich, Maria E. Bulatova.<br><b>Visual Working Memory: Methods, Research, Theory</b> (in Russian) ..... | 58 |
| Abstract in English .....   | 74 |

## Current Events in the Field

|   |    |
|---|----|
| Yulia A. Kozhukhova. <b>The International Summer School in Affective Sciences</b> (in Russian) .....  | 77 |
| Abstract in English .....   | 82 |
| Alexandra Luneva, Ilya Talalay. <b>The 7th International Conference on Cognitive Science:<br/>A Psychologist's Perspective and a Psychophysiolgologist's Perspective</b> (in Russian) ..... | 83 |
| Abstract in English .....   | 90 |
| Julia D. Potanina, Polina M. Eismont, Olga O. Ivanova, Maria A. Nagornaya.<br><b>The 7th International Conference on Cognitive Science: A Linguist's Perspective</b> (in Russian) .....     | 91 |
| Abstract in English .....   | 97 |

# Оглавление

|                   |   |
|-------------------|---|
| От редакции ..... | 4 |
|-------------------|---|

## Экспериментальные сообщения

|  |    |
|--|----|
| Людмила Д. Литвинова, Роза М. Власова, Валентин Е. Синицын, Екатерина В. Печенкова.<br><b>Влияние мнемической задачи на латерализацию активации в миндалевидном теле при восприятии эмоционально окрашенных изображений</b> (на английском языке)..... | 5  |
| Текст статьи на русском языке .....  | 23 |

## Инструментарий

|  |    |
|--|----|
| Александр Владимирович Жегалло. <b>Использование ПО PXLab для подготовки экспериментов, включающих регистрацию движений глаз с помощью айтрекеров Sensomotoric Instruments</b> ..... | 43 |
| Аннотация статьи на английском языке .....   | 56 |

## Обзор литературы

|   |    |
|---|----|
| Игорь С. Уточкин, Мария А. Юревич, Мария Е. Булатова.<br><b>Зрительная рабочая память: методы, исследования, теории</b> ..... | 58 |
| Аннотация статьи на английском языке .....  | 74 |

## Научная жизнь

|  |    |
|--|----|
| Юлия А. Кожухова. <b>Международная летняя школа по аффективным наукам</b> .....  | 77 |
| Аннотация статьи на английском языке .....   | 82 |
| Александра Лунева, Илья Талалай. <b>Седьмая Международная конференция по когнитивной науке глазами психолога и психофизиолога</b> .....                            | 83 |
| Аннотация статьи на английском языке .....   | 90 |
| Юлия Д. Потанина, Полина М. Эйсмонт, Ольга О. Иванова, Мария А. Нагорная.<br><b>Седьмая Международная конференция по когнитивной науке глазами лингвиста</b> ..... | 91 |
| Аннотация статьи на английском языке .....   | 97 |

# От редакции

Шестьдесят лет назад, в сентябре 1956 года, во второй день симпозиума по проблемам переработки информации, проходившего в Массачусетском технологическом институте, состоялась серия докладов, задавших направление когнитивных исследований на несколько последующих десятилетий. На симпозиум в MIT как на момент зарождения когнитивной науки и начало ее формальной истории указывал один из ключевых участников этого события Джордж Миллер<sup>1</sup>. Полвека спустя он писал: «Я уходил с симпозиума с твердой уверенностью, скорее интуитивной, чем рациональной, в том, что экспериментальная психология человека, теоретическая лингвистика и компьютерное моделирование познавательных процессов — части еще большего целого и в будущем мы увидим последовательную разработку и координацию их общих дел... Я двигался навстречу когнитивной науке в течение двадцати лет, прежде чем узнал, как она называется»<sup>2</sup>.

Хотя обозначенный Миллером «когнитивный треугольник» дисциплин еще не включал нейронауку, без которой мы просто не можем представить себе когнитивные исследования сегодня, два десятилетия спустя «когнитивный треугольник» уже превратился в «когнитивный шестиугольник», вобрав в себя нейронауку, философию сознания и когнитивную антропологию. Сейчас это целая сеть взаимосвязанных областей, причем само существование некоторых из них, например когнитивной географии или когнитивной поэтики, прежде было трудно себе вообразить.

Что же изменилось за 60 лет? На первый взгляд, достаточно мало. Вопрос об объеме кратковременной памяти, поднятый в докладе Джорджа Миллера на историческом симпозиуме 60 лет назад, все еще актуален, хотя и может выглядеть теперь иначе (например, как вопрос о емкости зрительной рабочей памяти, см. выходящий в данном номере обзор И.С. Уточкина «Зрительная рабочая память: методы, исследования, теории»). И, несмотря на существование по-настоящему междисциплинарных исследовательских проектов, большинству ученых «ближе к телу» какая-то одна научная область, интереснее и понятнее работы, тяготеющие лишь к одной из вершин «когнитивного шестиугольника». Во всяком случае, это верно для российских когнитивистов, среди которых пока еще исчезающе мало число выпускников специальных университетских программ по когнитивной науке. Такое положение дел хорошо иллюстрируется в данном номере РЖКН двумя хрониками, посвященными очередному когнитивному биеннале, Седьмой Международной конференции по когнитивной науке, прошедшей в июне этого года в Светлогорске. Одна из хроник ос-

вещает конференцию с точки зрения психолога и психофизиолога (А.Р. Лунева, И.В. Талалай), другая показывает ее нам глазами лингвистов (Ю.Д. Потанина и коллеги), и после знакомства с обоими сообщениями читателю может быть трудно поверить в то, что авторы хроник побывали на одном и том же конгрессе.

Вместе с тем очень многое в когнитивной науке изменилось даже не за 60, а за последние 20 лет. То, что еще недавно считалось горизонтами когнитивной науки<sup>3</sup> — исследования в области воплощенного познания, эмоционального познания, распределенного познания, социального познания, — стало повседневностью. Примечательно, что именно такие проекты, как работы Фридемана Пульвермюллера, непосредственно реализующего подход воплощенного познания и отыскивающего свидетельства вовлечения моторной коры в процессы понимания речи, стали подлинно междисциплинарными и привлекли к себе внимание авторов и психофизиологической, и лингвистической версии событий, происходивших на конференции в Светлогорске. Об этих же изменениях свидетельствует интерес когнитивистов к зарождающейся «аффективной науке» — новому междисциплинарному синтезу, проходящему сейчас тот же путь институционализации, что и когнитивная наука почти полвека назад (см. материал Ю.А. Кожуховой «Международная летняя школа по аффективным наукам»). И конечно же, лицо когнитивной науки очень сильно меняется по мере того, как она продолжает приобретать и совершенствовать новые методы, начиная от методов регистрации движений глаз (которым в текущем выпуске посвящена статья А.В. Жегалло) и ставших уже привычными методов нейровизуализации (в данном выпуске представлены фМРТ-исследования Л.Д. Литвиновой и коллег) и заканчивая экспериментами с использованием виртуальной реальности (см. хронику Ю.А. Кожуховой).

Шестидесятилетие — юбилей для научной дисциплины достаточно скромный, и хочется пожелать науке-юбиляру не только долголетия, но и сохранения того романтического духа, который в свое время так привлек в ней всех нас.

*Екатерина Печенкова, главный редактор  
«Российского журнала когнитивной науки»*

<sup>1</sup> См. Miller G. The cognitive revolution: a historical perspective // Trends in cognitive sciences. 2003. Vol. 7. No. 3. P. 141–144. См. также: Миллер Дж. Когнитивная революция с исторической точки зрения [2003] / Пер. с англ. Я. Киселевой под ред. М. Фаликман // Вопросы психологии. 2005. № 6. С. 104–109.

<sup>2</sup> Цит. по: Gardner H. The mind's new science. A history of the cognitive revolution. N.Y.: Basic Books, 1987.

<sup>3</sup> Фаликман М.В. Когнитивная наука в XXI веке: организм, социум, культура // Психологический журнал Международного университета природы, общества и человека «Дубна», 2012, № 3, С. 31–37. Электронная версия: <http://www.psyanima.ru/journal/2012/3/2012n3a2/2012n3a2.1.pdf>

## research papers

# Memory Task Induces a Shift in Lateralization of Amygdala Response to Affective Pictures

**Liudmila L. Litvinova**

Radiology Department, Center of Treatment and Rehabilitation, Moscow, Russia

**Roza M. Vlasova**

CIBORG Lab, Department of Radiology, Children's Hospital Los Angeles, CA, USA;

Radiology Department, Center of Treatment and Rehabilitation, Moscow, Russia

**Valentin E. Sinitsyn**

Radiology Department, Center of Treatment and Rehabilitation, Moscow, Russia

**Ekaterina V. Pechenkova**

Research Institute of Neuropsychology of Speech and Writing, Moscow, Russia;

Radiology Department, Center of Treatment and Rehabilitation, Moscow, Russia

**Abstract.** Neuroimaging research in emotion regulation reveals a decrease of amygdala response to affective stimuli when the stimuli are perceived during the performance of a cognitive task. Two types of tasks are usually used to investigate this effect: one distracts attention from the emotional content of stimuli and another directly addresses the emotional content, such as identification of the emotional facial expression. The present fMRI study tested the effect of a third type of task: a memory task that promotes attraction of one's attention to the emotional stimuli, but does not directly address the emotional content. A total of 44 volunteers were randomly assigned to one of two groups. In the MRI scanner, participants in the experimental group were asked to memorize emotional and neutral images taken from the IAPS (International Affective Picture System) database. Their recognition memory was subsequently tested after the scanning. Participants in the control group passively viewed the same picture set. The ROI analysis of the BOLD signal change revealed a leftward asymmetry of amygdala activation during the passive viewing of the pictures and a rightward shift of activation induced by the memory task. Results from the control ROIs demonstrated the phenomena of "inattentional deafness" in the auditory cortex and functional asymmetry in the visual cortex. The results are discussed in terms of complex functional connections between the amygdala, sensory cortices, and frontal regions of the brain.

**Correspondence:** Liudmila L. Litvinova (corresponding author), [luda\\_l@mail.ru](mailto:luda_l@mail.ru), 3 Ivan'kovskoe shosse, Radiology Department, Federal Center for Treatment and Rehabilitation, 125367 Moscow, Russia; Roza M. Vlasova, [rvlasova@chla.usc.edu](mailto:rvlasova@chla.usc.edu); Valentin E. Sinitsyn, [vsini@mail.ru](mailto:vsini@mail.ru); Ekaterina V. Pechenkova, [evp@virtualcoglab.org](mailto:evp@virtualcoglab.org)

**Keywords:** amygdala, lateralization, fMRI, IAPS, emotion, memory task, ROI analysis, inattentional deafness, VLPFC

**Copyright** © 2016. Liudmila L. Litvinova, Roza M. Vlasova, Valentin E. Sinitsyn, Ekaterina V. Pechenkova. 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.** We are grateful to Dmitry Lyusin for his valuable advice on procedures that induce amygdala responses. We appreciate Elena Merzhina's effort to arrange the organizational context of this project. We thank anonymous reviewers for discussion and suggestions that helped us to improve the paper. Last but not the least, we are profoundly grateful to Olga Marchenko who provided her unpublished data on the IAPS stimuli standardization on the Russian sample and thus allowed us to control for the possible cultural-specific aspects of our results.

Received 20 June 2016, accepted 30 September 2016.

## Introduction

Whereas emotional regulation of cognitive processes has been studied extensively, the reverse influence of cognitive processes on emotional experience has been explored in less detail. Cognitive regulation of emotional processes implies changes in emotional experience rather than any suppression of emotional behavioral responses. It may be involuntary or may take the form of explicit and effortful control strategies (Okon-Singer, Hendler, Pessoa, & Shackman, 2015). Ochsner and Gross (2005) suggested that cognitive control of emotion may be described as a continuum of forms spreading from attentional control such as distraction at one end to the change of mental representations of emotionally charged material such as the effects of expectation, placebo and cognitive reappraisal at the other end.

From the early days of academic psychology, emotions have been considered to be psychophysiological processes. Physiological indicators such as skin conductance response are commonly used to objectify measurements of emotional arousal (for a review, see Sequeira, Hot, Silvert, & Delplanque, 2009). More recently, the neural correlates of emotions take on the role of such objective measures. Researchers consider the activation of limbic structures, and above all the amygdala, as the evidence of subjective emotional experience. This inference is based on the fact that in neuroimaging studies the response to emotionally charged materials is often observed in the amygdala (Phan, Wager, Taylor, & Liberzon, 2002; Anderson, 2007) and this response is correlated with self-reported arousal (Canli et al., 2000) and skin conductance response (Taylor, Liberzon, & Koeppe, 2000; Hariri, Mattay, Tessitore, Fera, & Weeinsteinberger, 2003). A clear illustration showing that the activation of the amygdala is considered to be an indubitable equivalent of emotional experience is demonstrated by a method of real-time fMRI neurofeedback which was developed to train people to diminish their emotional responses. The method is based on providing participants with information about the activity of their amygdalae as real-time feedback while they are viewing aversive stimuli (Paret et al., 2014).

Thus, the question of the neural mechanisms underlying the cognitive control of emotion has been rearticulated as a question of the possible effect of a cognitive task upon the activation of the amygdala. The results of many early neuroimaging studies suggested that the amygdala response to affective stimuli is an automatic process that is not affected by top-down influences, that is, by whether one is attending to the emotional stimuli (Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan, 2001) or consciously aware of them (Whalen et al., 1998; Williams, Morris, McGlone, Abbott, & Mattingley, 2004).

Further research did not support this notion and instead demonstrated that emotional stimuli may evoke no amygdala response if a participant is not consciously aware of them (Pessoa, Japee, Sturman, & Ungerleider, 2006; Hoffmann, Lipka, Mothes-Lasch, Miltner, & Straube, 2012). An interaction was revealed between the emotional coloring of material and the state of attention. It was shown that the anticipation of emotional images increases the evoked amygdala response (Bermpohl et al., 2006); on

the other hand, being in a state of meditation reduces such a response (Desbordes et al., 2012).

If participants are asked to identify the emotion expressed in a photographed face, their attention is focused on the emotional content of the image. But the instruction to identify the gender of the same face involves distraction of the participant's attention from the emotional content. While some studies suggested that the distraction of attention from the faces' emotional expressions increases activation in the amygdala (Keightley et al., 2003; Critchley et al., 2000), other studies have shown the opposite effect (Gorno-Tempini et al., 2001), and some other studies observed no effect at all (Winston, Strange, O'Doherty, & Dolan, 2002; Winston, O'Doherty, & Dolan, 2003; Bleich-Cohen et al., 2006). Distraction of the spatial attention (Pessoa, McKenna, Gutierrez, & Ungerleider, 2002; Sanchez et al., 2015; Stillman, van Bavel, & Cunningham, 2015) or object-based attention (Mitchell et al., 2007) from emotional expressions decreased amygdala response to emotional faces, sometimes to the level of response to the neutral faces. Similarly, in the study devoted to the emotional Stroop effect, participants manifested a reduced activation in the amygdala when they tried to actively ignore the meaning of the emotional words (Compton et al., 2003).

However, when Stillman and colleagues (2015) asked their participants to mentally immerse themselves in the scene depicted by one of the two simultaneously presented photographs from the International Affective Picture System (IAPS), they observed a reduction of the amygdala response only to positive unattended images, while the response to the negative images did not depend on the allocation of attention. The interaction between attention and emotional valence was also found in an earlier study conducted by Williams, McGlone, Abbott, and Mattingley (2005), where the increase of amygdala activation with deployment of attention was observed only for happy faces, while the frightened faces evoked greater amygdala response while being unattended. Not only the valence of the stimuli but also information related to the specific emotional modality showed interaction with attention. Anderson, Christoff, Panitz, De Rosa, and Gabrielli (2003) revealed the increased amygdala response towards unattended compared to attended faces when they expressed disgust but not fear. Furthermore, it was also shown that the influence of attention upon amygdala response to emotional stimuli is modulated not only by the characteristics of the stimuli, but also by personal traits of the participants. For example, such influence is observed in people with high but not low anxiety levels (Most, Chun, Johnson, & Kiehl, 2006).

This inconsistent picture within the empirical evidence has led researchers to the idea that the effect of the task on the activation of the limbic system can be explained by a theory of perceptual load (Lavie, 1995). According to this theory, the fate of the unattended objects and events within the human information processing system depends on the perceptual load in this system elicited by the primary task. With respect to attention, affective processing may be considered in the same way as information processing of any other kind. In that case, unattended emotional content of the stimuli would be

processed more often under low perceptual load, when some spare capacity of the information processing system is available. Under high perceptual load, processing of the unattended emotional content would be less likely (Pessoa et al., 2002). This theory would explain why the early meta-analysis of fMRI and PET studies (Phan et al., 2002) revealed no effect of any cognitive task (recognition of the face gender, identification of the expressed emotion, etc.) on amygdala response towards emotional stimuli. This absence of an effect can be accounted for by the low perceptual load in the experimental paradigms used in early research.

The subsequent line of research has shown that this assumption was generally correct. Blair and colleagues (2007) demonstrated that activation in the medial frontal lobe and amygdala evoked by the emotional images from the IAPS database significantly decreased when passive viewing of the pictures alternated with an extra cognitive task (a modified Stroop task). Kellermann and colleagues (2012) asked their participants to remember a sequence of finger movements and to repeat it after a period of time spent viewing the affective pictures from the IAPS database. Movement sequences varied in difficulty, and images varied in valence (positive, neutral or negative). The more difficult was the motor task, the less prominent activation in the orbitofrontal cortex and amygdala in response to emotional versus neutral stimuli was found. Van Dillen, Heslenfeld, and Koole (2009) showed that the cognitive task associated with a high working memory load down-regulates both the subjective emotional response and amygdala activation evoked by negatively charged IAPS pictures.

The greater the demands for attention from the concurrent task, the more pronounced the effect. This has been shown for a variety of concurrent tasks: visual search with low and high attentional load (Morawetz, Baudewig, Treue, & Dechent, 2010; Mothes-Lasch, Mentzel, Miltner, & Straube, 2013); tasks addressing different levels of information processing, i.e. requiring participants to indicate whether printed words were in uppercase or lowercase versus the number of syllables in the words (Mitchell et al., 2007); and matching the orientation of bars surrounding the emotional face (Pessoa, Padmala, & Morland, 2005). Most of these studies concluded that the higher perceptual load is associated with a greater decrement in amygdala response to emotional faces, and in one experiment (Mothes-Lasch et al., 2013) it even became indistinguishable from the activation evoked by neutral faces.

Pessoa and his colleagues (2005) suggested two mechanisms that can account for such a pattern of results. The first can be described in terms of the theory of perceptual load: there is a lack of attentional resources when one performs a complex cognitive task. Secondly, the parts of the brain controlling affective processing of stimuli may experience inhibitory effects from the brain regions which are involved in the performance of a cognitive task. Pessoa et al. labeled the latter hypothetical mechanism "cognitive modulation". They obtained some evidence for such a mechanism when they observed a reduction in activation of the amygdala in participants who performed the difficult bar orientation discrimination task in the absence of any emotionally charged stimuli.

Thus, distraction of attention from the emotional content of stimuli which, among other factors, might be induced by any cognitive task unrelated to the emotional content, results in decreased activation in the amygdala. The decrement can be explained by either reallocation of attentional resources under increasing perceptual load or by cognitive modulation. But what happens when a person performs a task which addresses the emotional content of material? On the one hand, attracting attention to the emotional aspects of the stimuli should lead to increased BOLD-response in the amygdala; on the other hand, the cognitive modulation can reduce the evoked response.

Tasks directly addressing the emotional content of stimuli include subjective experience rating, reappraisal of negative emotion and the verbal labeling of emotion. A decrease in amygdala activation has been observed for each of these three tasks compared to the passive viewing condition or to the instruction to memorize the emotion evoked by the picture. A large number of studies have confirmed a reduction in amygdala activation by reappraisal of negative emotions when participants were instructed to reinterpret the situation depicted in the photo or to use a strategy of internal self-distancing (Ochsner, Bunge, Gross, & Gabrieli, 2002; Phan et al., 2005; review in Ochsner & Gross, 2005; Ochsner, Silvers, & Buhle, 2012).

Banks, Eddy, Angstadt, Nathan, and Phan (2007) reported that cognitive reappraisal strengthens the connections between the amygdala and the orbitofrontal and dorsomedial prefrontal cortex, thus providing evidence for inhibition of the amygdala by the anterior prefrontal cortex as a possible mechanism of the observed effect. Similar results were obtained in research on verbal labeling. It has been shown that the reduction of amygdala response as a result of verbal labeling of emotional facial expression (Hariri et al., 2003; Lieberman et al., 2007; Moyal, Henik, & Anholt, 2013) may be accompanied by an increased BOLD-signal in the prefrontal cortex (Lieberman et al., 2007). Finally, even a simple subjective rating of the emotional valence of the aversive visual stimuli along the 'pleasant-unpleasant' dimension may result in a diminished activation in the amygdala compared to passive viewing, as demonstrated in a PET study by Taylor, Phan, Decker, and Liberzon (2003).

Less well understood is the situation when someone performs a task which does not directly address the emotional content of the material. Would humans experience emotionally charged objects and events as more or less arousing, more pleasant or unpleasant if they must be identified, classified, retained in memory or used for problem solving?

Not many neuroimaging studies have explored this issue. A PET study conducted by Liberzon and colleagues (2000) compared the amygdala activation while participants performed two tasks: the rating of emotional valence of an IAPS image (pleasant vs. unpleasant) and a recognition task in which participants responded whether they had seen the image during the previous scanning session. In the earlier mentioned pioneering work of Vuilleumier et al. (2001), participants were simultaneously presented with images of two faces and two houses and were asked to match either the faces or houses,

indicating whether they were the same or different. A series of studies (Critchley et al., 2000; Gorno-Tempini et al., 2001; Keightley et al., 2003; Bleich-Cohen et al. 2006) used the above-mentioned technique of introducing the two tasks, one addressing the emotional content (i.e., whether two faces express the same emotion), and another addressing other aspects of the material (i.e., whether the two faces share the same gender). Shafer et al. (2012) asked their participants to report whether the emotional pictures were in portrait or landscape orientation. Notably, all of these experiments lacked a control condition of passive viewing, which would allow for disentangling the effect of the cognitive task as such from the attentional effects upon the activation in amygdala.

In the present study, we tried to fill this gap and compared amygdala activation using fMRI in two conditions when participants either passively viewed emotional images or were asked to memorize them. We chose the memorization task because, on the one hand, it does not directly address the emotional content of the image, but on the other hand, it does not distract one's attention from this content.

As one option, we may expect enhanced amygdala activation during the memory task versus passive viewing of emotional pictures since the memory task involves increased attention to emotional stimuli. Alternately, we may expect that the cognitive modulation would weaken the amygdala response in a way similar to that found for the cognitive tasks directly addressing the emotional content (verbal labeling of emotions, subjective rating or reappraisal).

Since it may not be possible for participants to discard the requirements of the memory task and perform the passive viewing after the memory task, as implied by the within-subject experimental design, we used a between-subject design instead. One group performed the memory task, and the other passively viewed the same set of pictures.

Stimuli were taken from the International Affective Picture System (IAPS), developed by Bradley and Lang (Bradley & Lang, 2007; Lang, Bradley, & Cuthbert, 2008). Neuroimaging research on the cognitive control of emotion most commonly uses two types of material: photographs of faces expressing emotion (mostly in studies on the effects of attention) and IAPS images (mostly in studies on reappraisal and other tasks directly addressing emotional content). As noted by Öhman in his review (2002), almost all data from earlier studies advocating the automaticity of the amygdala response were obtained using emotional faces. This suggests that the amygdala may respond to a face as a specific type of stimulus regardless of whether the face is expressing emotion or whether it induces any emotional experience in the observer. Therefore, the activation of the amygdala evoked by the presentation of the emotional faces may not be considered as a neurophysiological indicator of an emotional response. At the same time, the self-assessment manikin procedure used for standardization of the IAPS photographs involves the rating of subjective experience along the Arousal, Valence and Dominance dimensions. Consequently, for our study we also chose IAPS images rather than expressive faces. While viewing positive and negative

IAPS visual scenes, participants are more likely not only to be engaged into identification and categorization of the affective stimuli, but also to experience actual emotional responses.

We also separately examined changes in the BOLD-signal in the left and right amygdalae since many previous studies demonstrated a lateralized effect of cognitive task: the change in activation was observed in either the right or the left amygdala, but not in both (Gorno-Tempini et al., 2001; Liberzon et al., 2000; Ochsner et al., 2002; Pessoa et al., 2002; Pessoa et al., 2005; Diers, Weber, Brocke, Strobel, & Schönfeld, 2014).

Besides the main regions of interest (ROI), namely the left and the right amygdalae, additional ROIs were used in order to control for possible global variations of BOLD signal induced by task or arousal, and to compare the results to the literature. Two extra sets of ROI were selected in the visual (occipital) and auditory cortex. The visual cortex exhibits enhanced activation in response to emotional versus neutral IAPS images (Simpson et al., 2000; Taylor et al., 2000; Hoffmann et al., 2012), and the attentional effects accompanying the memory task may also be expected in the visual cortex. The auditory cortex ROI was selected as a control because we considered the effect of viewing and memorizing emotional visual stimuli on the auditory cortex to be unlikely.

Therefore, we used a  $2 \times 3 \times 3 \times 2$  experimental design with one between-subject factor (memory task or passive viewing) and three within-subject factors: emotional valence of the images (3), region of interest (3) and the left or right location of the ROI (2).

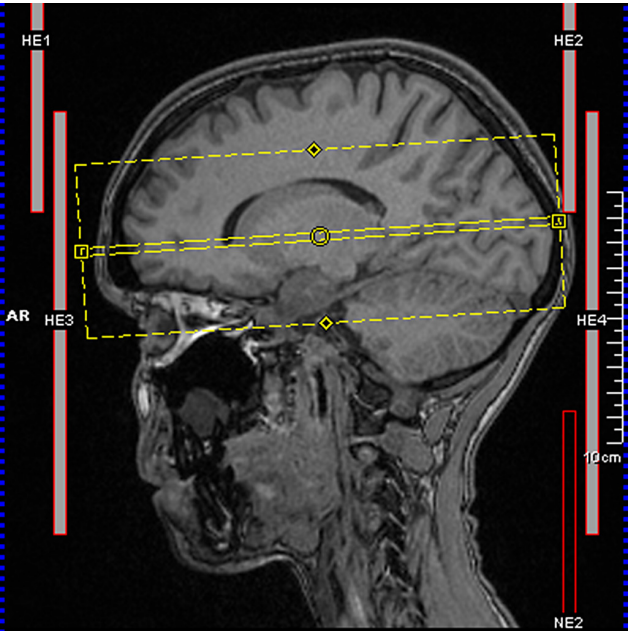
## Method

### Participants

Forty-six healthy volunteers (28 females and 18 males) aged from 18 to 49 years old (mean age 26,  $SD = 5$ ) with normal or corrected-to normal visual acuity participated in the study. Participants were randomly assigned to either the experimental (memory task) or control (passive viewing) group. Data obtained from two participants were excluded from further analysis due to excessive head motion artifacts. Therefore, 44 participants were included in the final analysis: 22 in the experimental group (15 females and 7 males) and 22 in the control group (11 females and 11 males), mean age 26 years in each group. Forty-one participants were right-handed and three were ambidextrous. Dexterity was assessed using a modified version of the Annett Hand Preference Questionnaire (Vasserman et al., 1997). All volunteers were raised in Russia. Participants were screened for contraindications to the MRI procedure and signed written informed consent forms prior to the study. None of them reported any neurological or mental health conditions.

### fMRI Data Acquisition

For each participant, 327 T2\*-weighted functional images were acquired with a Siemens 1.5T Magnetom Avanto MR scanner located at the Federal Center of Medicine and Rehabilitation in Moscow, Russia. The EPI pulse sequence



**Figure 1.** Sample slice orientation for acquisition of functional volumes.

parameters were TR/TE/FA = 2000 ms/50ms/83°; 23 slices were oriented parallel to the line connecting anterior and posterior commissures (AC/PC plane) and consisted

of 64×64 isotropic voxels (3×3×3 mm). The functional volumes covered the ventral prefrontal cortex, lower part of dorsolateral prefrontal cortex, temporal and occipital lobes, anterior and posterior cingulate cortex (see Figure 1).

For each participant, T2\*-weighted images were complemented by a T1-weighted anatomical image acquired with MPR sequence (TR/TE/FA = 1900 ms/2.9ms/15°), voxel size 1×1×1 mm, and a field map measured with a standard GRE field mapping sequence (TR/TE1/TE2/FA = 460 ms/4.76 ms/9.52 ms/60°).

**Materials**

Fifty-four color photographs were selected from three content categories of the International Affective Picture System (IAPS; Bradley & Lang, 2007), with eighteen images per category: neutral scenes, erotica and mutilations (see Figure 2). Erotica and mutilation comprised emotional images (pictures that received high arousal scores according to the standardization dataset) with erotic pictures being positive (high valence scores) and mutilation pictures being negative (low valence scores). The neutral scenes were characterized by low arousal and medium valence scores. IAPS picture identification numbers and the average arousal and valence scores for each category are presented in Table 1.

**Table 1.** IAPS Images Used as Stimuli in the Present Study and Their Normative Ratings along Affective Dimensions According to Standardization Performed on the American (Lang et al., 2008) and Russian (Marchenko, Unpublished Data) Samples

| Category                              | Neutral  | Erotica  | Mutilation   |
|---------------------------------------|--|--|--|
| All stimuli                           |  |  |  |
| Picture identification number         | 5731, 5740, 7003, 7004, 7009, 7010, 7041, 7090, 7100, 7150, 7161, 7185, 7217, 7233, 7234, 7235, 7705, 7950 | 4611, 4641, 4651, 4652, 4653, 4658, 4659, 4664, 4666, 4670, 4676, 4677, 4680, 4681, 4687, 4690, 4693, 4694 | 3000, 3030, 3051, 3059, 3060, 3062, 3063, 3068, 3069, 3071, 3100, 3101, 3102, 3120, 3130, 3131, 3266, 3400 |
| Arousal (Lang et al., 2008)           | <i>M</i> = 2.61 ( <i>SD</i> = 0.36)  | <i>M</i> = 6.05 ( <i>SD</i> = 0.35)  | <i>M</i> = 6.19 ( <i>SD</i> = 0.54)  |
| Valence (Lang et al., 2008)           | <i>M</i> = 4.94 ( <i>SD</i> = 0.26)  | <i>M</i> = 6.14 ( <i>SD</i> = 0.65)  | <i>M</i> = 2.08 ( <i>SD</i> = 0.32)  |
| Stimuli images with Russian norms     |  |  |  |
| Picture identification number         | 5731, 5740, 7003, 7004, 7009, 7010, 7233, 7234, 7235, 7950   | 4611, 4651, 4652, 4653, 4659, 4664, 4680, 4690   | 3000, 3030, 3051, 3060, 3062, 3069, 3071, 3100, 3102, 3120, 3130, 3131, 3400                               |
| Arousal (Lang et al., 2008)           | <i>M</i> = 2.60 ( <i>SD</i> = 0.45)  | <i>M</i> = 5.33 ( <i>SD</i> = 0.21)  | <i>M</i> = 6.46 (0.62)   |
| Valence (Lang et al., 2008)           | <i>M</i> = 4.97 ( <i>SD</i> = 0.3)   | <i>M</i> = 6.70 ( <i>SD</i> = 0.24)  | <i>M</i> = 2.03 ( <i>SD</i> = 0.28)  |
| Arousal (Marchenko, unpublished data) | <i>M</i> = 3.15 ( <i>SD</i> = 0.84)  | <i>M</i> = 5.92 ( <i>SD</i> = 0.28)  | <i>M</i> = 6.31 ( <i>SD</i> = 0.5)   |
| Valence (Marchenko, unpublished data) | <i>M</i> = 5.49 ( <i>SD</i> = 0.45)  | <i>M</i> = 5.84 ( <i>SD</i> = 0.77)  | <i>M</i> = 2.03 ( <i>SD</i> = 0.33)  |

Erotic and mutilation images were selected in a way to equate the arousal scores for the positive and negative images. Since both male and female participants were included in the study, only photographs depicting opposite-sex couples (not single naked men or women) were selected.

## Procedure

Each participant underwent one 11-minute functional scanning session while viewing pictures via a coil-mounted mirror. Images were projected onto a screen subtending a  $12 \times 10^\circ$  visual angle. All 54 stimuli were presented in a single event-related session, with each picture presented for six seconds. Images from different categories alternated in a random sequence and were separated by interstimulus intervals of variable duration (from 0.5 to 19 seconds) filled with the presentation of a fixation cross on a dark screen ("null" events). Such arrangement of stimuli was intended to weaken expectations regarding the moment of the next stimulus onset and category. Picture sequence and timing were optimized for better detection of the BOLD-signal change with the help of the optseq2 software (<https://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/optseq/>). Stimuli onsets were either synchronized with the beginning of the acquisition of the functional volume (TR) or shifted by 0.5, 1 or 1.5 seconds for better sampling of the BOLD signal.

Participants in the control group passively viewed a set of pictures. They were asked to attend to the screen while the experimenter recorded their brain activity. Participants in the experimental group performed a memory task. They were instructed to memorize the stimuli and told that their memory for pictures would be tested after the scan. The recognition test was introduced after the end of the functional session while the participant was still lying in the MRI-scanner but was not scanned. The test included 12 images taken from the same three IAPS categories (erotica, mutilation and neutral scenes). Half of the pictures had been presented earlier during the scanning session and the other half was novel for the participants. All responses were recorded.

## Data Analysis

Quality control of the functional data was performed with ArtRepair toolbox v. 4.1 (Mazaika, Hoefft, Glover, and Reiss, 2009). Data were processed with SPM8 software (Wellcome Institute of Cognitive Neurology, [www.fil.ion.ucl.ac.uk](http://www.fil.ion.ucl.ac.uk)).

Functional data preprocessing included the following steps: slice timing correction; correction for motion artifacts and magnetic field inhomogeneities (realign and unwrap); spatial coregistration of functional and structural images; segmentation of the structural images into white matter, gray matter and cerebrospinal fluid; normalization to MNI space using the results of segmentation of the structural images.

ROI analysis based on the anatomical ROIs was conducted. Since only one functional session was acquired per participant, the ROI analysis was not complemented by the whole brain voxel-wise statistical analysis since there was no independent data set available (see discussion in Vul & Kanwisher, 2010).

Two main ROIs (left and right amygdala) and two pairs of control ROIs (in the visual and auditory cortex in both hemispheres) were defined in each participant (Figure 3). Structural ROI masks were manually outlined on anatomical images normalized to the standard MNI template using ImageJ software (Rasband, 1997–2015) with Segmentation Editor plugin (Schindelin, Rueden, Hiner, & Eliceiri, 2007), as well as Mricron (Rorden et al., 2007) and Marsbar Toolbox (Brett, Anton, Valabregue, & Poline, 2002) for SPM.

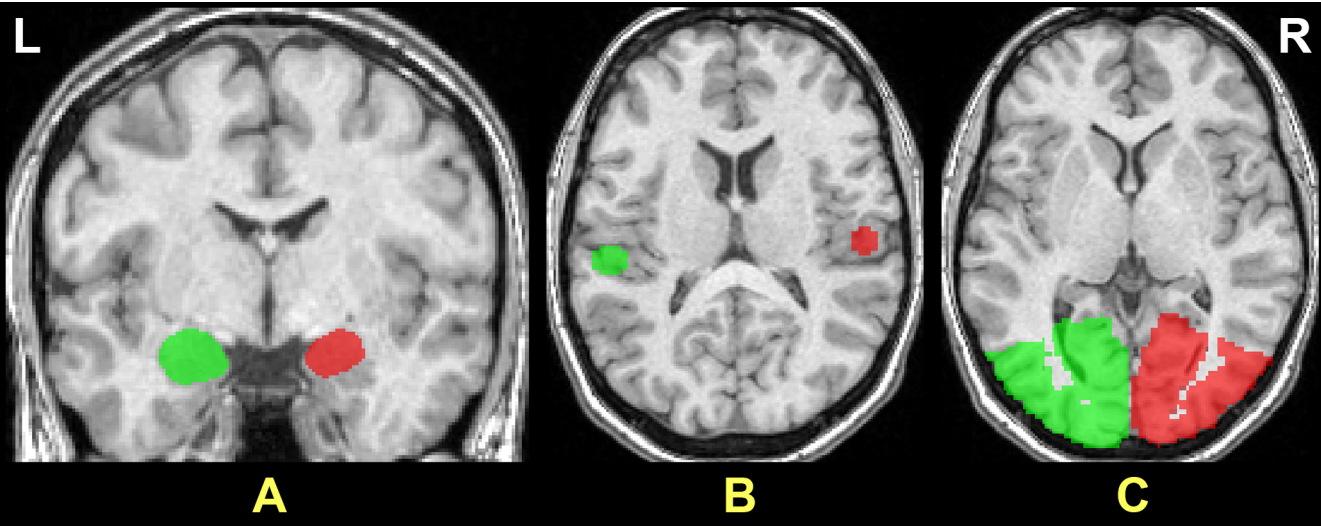
Amygdala ROIs were manually traced following the protocol developed by the Stanford Psychiatry Neuroimaging Laboratory (Drawing and Measuring Amygdala and Hippocampus, v.4). In doing so we minimized the possibility of inclusion of the voxels from regions adjoining the amygdala (primarily the temporal pole and hippocampus) into the ROI.

ROIs in the auditory cortex were constructed around the spot manually selected in each participant within the Sylvian fissure of the right and left hemispheres in a gray matter concentration between the transverse temporal gyrus and the planum temporale. The ROIs were built in the Marsbar toolbox as spheres with volumes corresponding to that of the amygdala ROI volumes in the matching hemispheres of the same participant (with radius rounded up to 1 mm).

Manual definition of ROIs was performed by three raters (the authors of this paper LL, RV, EP). The anatomical images were randomly distributed in equal proportions between the raters. In order to exclude any possible effect of the raters they were blind to whether a particular brain image belonged to a participant from the experimental or control group.



**Figure 2.** Sample images from each category similar to IAPS images used as stimuli in our study (IAPS license agreement prohibits the researchers' publication of images from the actual dataset). A: Neutral scenes. B: Negative emotional stimuli, mutilation. C: Positive emotional stimuli, erotica.



**Figure 3.** ROI in a sample participant. A: Manually traced structural ROI mask of the left and right amygdalae based on a spatially normalized anatomical image. B: ROIs in the left and right auditory cortices. C: ROIs in the left and right visual cortices.

ROIs in the visual cortex were constructed using the following steps. First, masks of the left and right occipital cortices were generated using WFU Pickatlas (Maldjian, Laurienti, Kraft, & Burdette, 2003). These universal masks were overlapped with spatially normalized individual gray matter masks obtained after segmentation of the T1-weighted anatomical images. Such extended ROIs were used to reduce variance in the BOLD signal changes, since reliable delineation of the visual cortex areas corresponding to the foveal and parafoveal visual field seemed not possible purely on the basis of the anatomical landmarks.

ROIs in the ventrolateral prefrontal cortex (VLPFC) for analysis of the amygdala functional connectivity were also defined using WFU\_Pickatlas. The ROIs were the same for all participants and included masks of Brodmann areas 44, 45 and 47 separately in each hemisphere.

The percentage of the BOLD-signal change in each ROI evoked by each of the three IAPS categories was computed using Marsbar Toolbox for SPM. Effects of the three types of stimuli (emotionally positive, negative and

neutral) within the ROIs were estimated using the general linear model individually in each participant. The change was computed relative to the baseline level that was defined as the average value of intensity of all voxels within the ROI across all functional images.

The percentage of the BOLD-signal change was compared across experimental conditions and ROIs using repeated measures analysis of variance with covariates (rmANCOVA). There were three within-subject factors: ROI (amygdala, auditory cortex or visual cortex)  $\times$  Side (left or right)  $\times$  Image Category (erotica, mutilation or neutral) and one between-subject factor Task (memory task or passive viewing) with two covariates: Sex and the Average Volume of the Amygdala. Mean-centered covariates were included in the analysis to control for the variables not equated between groups during randomization. The two groups were not completely balanced by gender and amygdala volume. As the neuroanatomical and sex differences are innate and could not be influenced

**Table 2.** Mean Values and Standard Deviations (in Braces) of Percent BOLD Signal Change Evoked by Three Image Categories (Positive, Negative and Emotionally Neutral) in Three Anatomical ROIs in Experimental (Memory Task) and Control (Passive Viewing) Groups

|                 |            | Amygdala   |            | Auditory Cortex |             | Visual Cortex |            |
|-----------------|------------|------------|------------|-----------------|-------------|---------------|------------|
|                 |            | LH         | RH         | LH              | RH          | LH            | RH         |
| Memory task     | Erotica    | 0.13(0.13) | 0.21(0.21) | −0.11(0.28)     | −0.12(0.32) | 0.43(0.21)    | 0.54(0.23) |
|                 | Mutilation | 0.24(0.13) | 0.28(0.15) | −0.14(0.26)     | −0.20(0.28) | 0.42(0.19)    | 0.53(0.22) |
|                 | Neutral    | 0.07(0.19) | 0.08(0.20) | −0.08(0.29)     | −0.10(0.28) | 0.35(0.16)    | 0.43(0.16) |
| Passive viewing | Erotica    | 0.18(0.17) | 0.14(0.14) | −0.21(0.28)     | −0.14(0.28) | 0.44(0.16)    | 0.53(0.19) |
|                 | Mutilation | 0.36(0.24) | 0.27(0.15) | −0.34(0.24)     | −0.28(0.28) | 0.40(0.12)    | 0.52(0.15) |
|                 | Neutral    | 0.09(0.19) | 0.02(0.16) | 0.02(0.30)      | 0.08(0.30)  | 0.36(0.16)    | 0.41(0.16) |

by our experimental manipulation, ANCOVA was considered as an appropriate method of statistical control (Miller & Chapman, 2001). The literature shows evidence for gender specific activation of the amygdala (Hamann, 2005; Wager, Phan, Liberzon, & Taylor, 2003), but we did not discover any data on covariation of the volume of the amygdala and its

activation. ANCOVA was performed using SPSS 17.0. Further analysis of the functional connections between the amygdala and VLPFC was carried out by CONN software (Whitfield-Gabrieli & Nieto-Castanon, 2012). The general linear models with contrasts, analogous to a MANOVA and rmANCOVA, were conducted as implemented in CONN second-level analysis.

**Table 3.** Results of rmANCOVA with Within-Subject Factors ROI, Image Category and Side, and Between-Subject Factor Task with Sex and Average Volume of the Amygdala as Covariates

| Source   | df     | F       | p    | $\eta^2_p$ |
|--|--------|---------|------|------------|
| Within-Subject Effects                                       |        |         |      |            |
| ROI  | 2      | 198.219 | .000 | .832       |
| ROI × Sex  | 2      | 0.269   | .765 | .007       |
| ROI × Average Volume of the Amygdala                         | 2      | 0.132   | .877 | .003       |
| ROI × Task   | 2      | 0.044   | .957 | .001       |
| Error (ROI)  | 80     |         |      |            |
| Side   | 1      | 8.449   | .006 | .174       |
| Side × Sex   | 1      | 2.705   | .108 | .063       |
| Side × Average Volume of the Amygdala                        | 1      | 0.023   | .879 | .001       |
| Side × Task  | 1      | 0.666   | .419 | .016       |
| Error (Side)   | 40     |         |      |            |
| Image Category   | 2      | 0.990   | .376 | .024       |
| Image Category × Sex   | 2      | 0.975   | .382 | .024       |
| Image Category × Average Volume of the Amygdala              | 2      | 0.525   | .594 | .013       |
| Image Category × Task  | 2      | 1.507   | .228 | .036       |
| Error (Image Category)                                       | 80     |         |      |            |
| ROI × Side   | 2      | 6.612   | .002 | .142       |
| ROI × Side × Sex   | 2      | 0.106   | .900 | .003       |
| ROI × Side × Average Volume of the Amygdala                  | 2      | 0.177   | .838 | .004       |
| ROI × Side × Task  | 2      | 5.632   | .005 | .123       |
| Error (ROI × Side)   | 80     |         |      |            |
| ROI × Image Category   | 2.349* | 30.529  | .000 | .433       |
| ROI × Image Category × Sex                                   | 4      | 0.825   | .511 | .020       |
| ROI × Image Category × Average Volume of the Amygdala        | 4      | 0.204   | .936 | .005       |
| ROI × Image Category × Task                                  | 4      | 4.383   | .002 | .099       |
| Error (ROI × Image Category)                                 | 160    |         |      |            |
| Side × Image Category  | 2      | 1.669   | .195 | .040       |
| Side × Image Category × Sex                                  | 2      | 0.555   | .576 | .014       |
| Side × Image Category × Average Volume of the Amygdala       | 2      | 1.140   | .325 | .028       |
| Side × Image Category × Task                                 | 2      | 0.112   | .894 | .003       |
| Error (Side × Image Category)                                | 80     |         |      |            |
| ROI × Side × Image Category                                  | 3.108* | 0.933   | .430 | .023       |
| ROI × Side × Image Category × Sex                            | 4      | 0.441   | .779 | .011       |
| ROI × Side × Image Category × Average Volume of the Amygdala | 4      | 1.355   | .252 | .033       |
| ROI × Side × Image Category × Task                           | 4      | 0.343   | .849 | .009       |
| Error (ROI × Side × Image Category)                          | 160    |         |      |            |
| Between-Subjects Effects                                     |        |         |      |            |
| Intercept  | 1      | 92.615  | .000 | .698       |
| Sex  | 1      | 0.054   | .817 | .001       |
| Average Volume of the Amygdala                               | 1      | 0.004   | .949 | .000       |
| Task   | 1      | 0.062   | .805 | .002       |
| Error  | 40     |         |      |            |

**Note:** \* Greenhouse-Geisser correction applied.

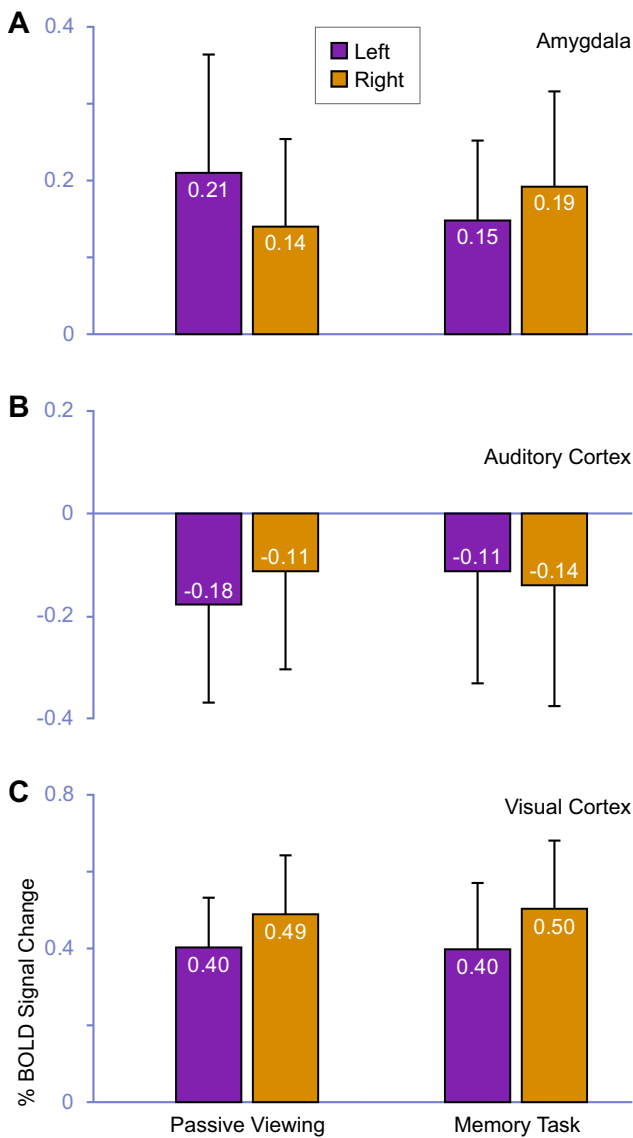
**Table 4.** Results of the Follow-Up rmANCOVAs Conducted for Each ROI Separately to Test Effects of the Within-Subject Factor Side and the Between-Subject Factor Task with Sex and Average Volume of the Amygdala as Covariates

| A. ROI in the amygdala                |    |         |      |            |
|---------------------------------------|----|---------|------|------------|
| Source                                | df | F       | p    | $\eta^2_p$ |
| Within-Subject Effects                |    |         |      |            |
| Side                                  | 1  | 0.375   | .544 | .009       |
| Side × Sex                            | 1  | 1.497   | .228 | .036       |
| Side × Average Volume of the Amygdala | 1  | 0.081   | .777 | .002       |
| Side × Task                           | 1  | 8.667   | .005 | .178       |
| Error (Side)                          | 40 |         |      |            |
| Between-Subject Effects               |    |         |      |            |
| Intercept                             | 1  | 113.757 | .000 | .740       |
| Sex                                   | 1  | 0.244   | .624 | .006       |
| Average Volume of the Amygdala        | 1  | 0.363   | .550 | .009       |
| Task                                  | 1  | 0.001   | .974 | .000       |
| Error                                 | 40 |         |      |            |
| B. ROI in the auditory cortex         |    |         |      |            |
| Source                                | df | F       | p    | $\eta^2_p$ |
| Within-Subject Effects                |    |         |      |            |
| Side                                  | 1  | 0.456   | .503 | .011       |
| Side × Sex                            | 1  | 0.560   | .459 | .014       |
| Side × Average Volume of the Amygdala | 1  | 0.000   | .983 | .000       |
| Side × Task                           | 1  | 2.317   | .136 | .055       |
| Error (Side)                          | 40 |         |      |            |
| Between-Subject Effects               |    |         |      |            |
| Intercept                             | 1  | 20.783  | .000 | .342       |
| Sex                                   | 1  | 0.078   | .782 | .002       |
| Average Volume of the Amygdala        | 1  | 0.011   | .917 | .000       |
| Task                                  | 1  | 0.075   | .786 | .002       |
| Error                                 | 40 |         |      |            |
| C. ROI in the visual cortex           |    |         |      |            |
| Source                                | df | F       | p    | $\eta^2_p$ |
| Within-Subject Effects                |    |         |      |            |
| Side                                  | 1  | 56.990  | .000 | .588       |
| Side × Sex                            | 1  | 0.821   | .370 | .020       |
| Side × Average Volume of the Amygdala | 1  | 0.875   | .355 | .021       |
| Side × Task                           | 1  | 0.535   | .469 | .013       |
| Error (Side)                          | 40 |         |      |            |
| Between-Subject Effects               |    |         |      |            |
| Intercept                             | 1  | 353.539 | .000 | .898       |
| Sex                                   | 1  | 0.255   | .616 | .006       |
| Average Volume of the Amygdala        | 1  | 0.021   | .887 | .001       |
| Task                                  | 1  | 0.044   | .835 | .001       |
| Error                                 | 40 |         |      |            |

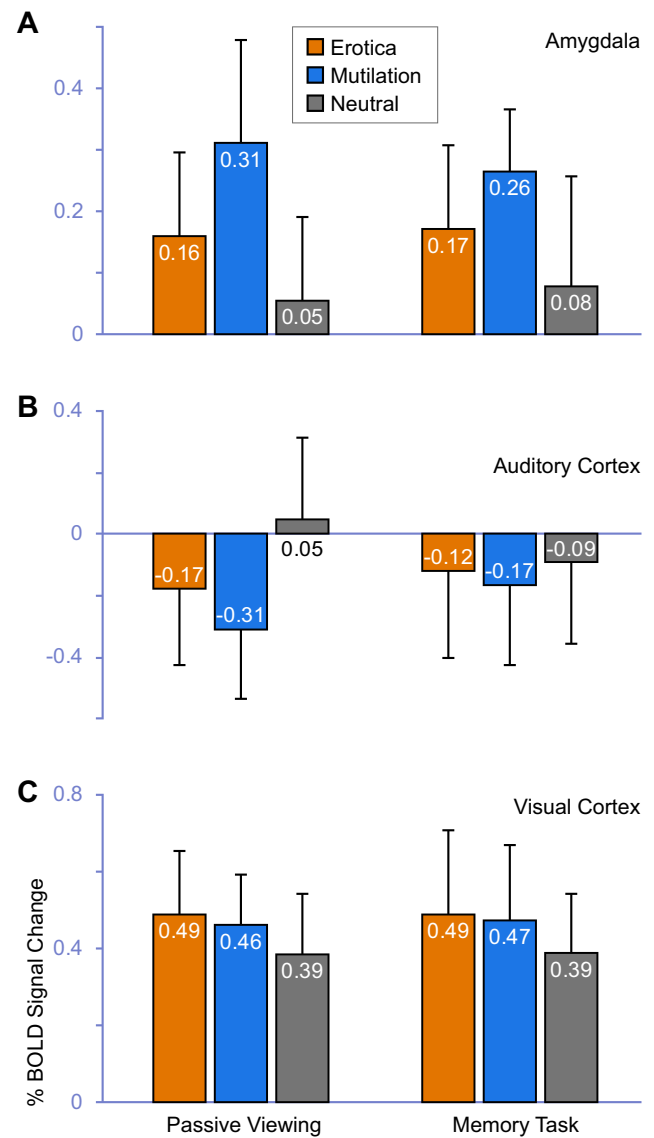
**Table 5.** Results of the Follow-Up rmANCOVAs Conducted for Each ROI Separately to Test Effects of the Within-Subject Factor Image Category and the Between-Subject Factor Task with Sex and Average Volume of the Amygdala as Covariates

| A. ROI in the amygdala                          |        |         |      |            |
|---|--------|---------|------|------------|
| Source  | df     | F       | p    | $\eta^2_p$ |
| Within-Subject Effects                          |        |         |      |            |
| Image Category                                  | 2      | 34.706  | .000 | .465       |
| Image Category × Sex                            | 2      | 0.602   | .550 | .015       |
| Image Category × Average Volume of the Amygdala | 2      | 0.684   | .508 | .017       |
| Image Category × Task                           | 2      | 1.196   | .308 | .029       |
| Error (Image Category)                          | 80     |         |      |            |
| Between-Subject Effects                         |        |         |      |            |
| Intercept                                       | 1      | 113.757 | .000 | .740       |
| Sex   | 1      | 0.244   | .624 | .006       |
| Average Volume of the Amygdala                  | 1      | 0.363   | .550 | .009       |
| Task  | 1      | 0.001   | .974 | .000       |
| Error   | 40     |         |      |            |
| B. ROI in the auditory cortex                   |        |         |      |            |
| Source  | df     | F       | p    | $\eta^2_p$ |
| Within-Subject Effects                          |        |         |      |            |
| Image Category                                  | 1.565* | 11.112  | .000 | .217       |
| Image Category × Sex                            | 2      | 0.493   | .612 | .012       |
| Image Category × Average Volume of the Amygdala | 2      | 0.232   | .794 | .006       |
| Image Category × Task                           | 2      | 4.229   | .018 | .096       |
| Error (Image Category)                          | 80     |         |      |            |
| Between-Subject Effects                         |        |         |      |            |
| Intercept                                       | 1      | 20.783  | .000 | .342       |
| Sex   | 1      | 0.078   | .782 | .002       |
| Average Volume of the Amygdala                  | 1      | 0.011   | .917 | .000       |
| Task  | 1      | 0.075   | .786 | .002       |
| Error   | 40     |         |      |            |
| C. ROI in the visual cortex                     |        |         |      |            |
| Source  | df     | F       | p    | $\eta^2_p$ |
| Within-Subject Effects                          |        |         |      |            |
| Image Category                                  | 2      | 13.664  | .000 | .255       |
| Image Category × Sex                            | 2      | 3.500   | .035 | .080       |
| Image Category × Average Volume of the Amygdala | 2      | 0.409   | .666 | .010       |
| Image Category × Task                           | 2      | 0.093   | .911 | .002       |
| Error (Image Category)                          | 80     |         |      |            |
| Between-Subject Effects                         |        |         |      |            |
| Intercept                                       | 1      | 353.539 | .000 | .898       |
| Sex   | 1      | 0.255   | .616 | .006       |
| Average Volume of the Amygdala                  | 1      | 0.021   | .887 | .001       |
| Task  | 1      | 0.044   | .835 | .001       |
| Error   | 40     |         |      |            |

Note: \* Greenhouse-Geisser correction applied.



**Figure 4.** Mean value and standard deviations of percent BOLD signal change in both hemispheres during the memory task and passive viewing in three ROIs. A: amygdala, B: auditory cortex, C: visual cortex.



**Figure 5.** Mean values and standard deviations of percent BOLD signal change evoked by the three categories of IAPS images during either passive viewing or the memory task in the three ROIs. A: amygdala, B: auditory cortex, C: visual cortex.

## Results

### Accuracy of Recognition Task

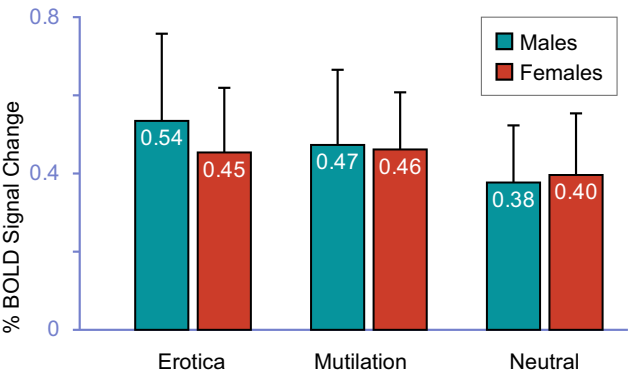
Five out of 22 participants of the experimental group made one error each in the recognition task that was administered immediately after the end of the scanning session (91.7% correct responses). Both omissions and false positives were related to emotional pictures. The remaining seventeen participants gave 100% correct responses.

### Characteristics of Regions of Interest

Centers of mass of two manually traced amygdalae ROI had the following coordinates in Montreal Neurological Institute (MNI) space (mm):  $-21 \pm 1$ ,  $-6 \pm 1$ ,  $-20 \pm 1$  (left) and  $22 \pm 1$ ,  $-5 \pm 2$ ,  $-19 \pm 2$  (right). Average ROI volume was  $1482 \pm 327$  mm<sup>3</sup> and  $1464 \pm 277$  mm<sup>3</sup> for the left and right amygdalae respectively (all volumes measured in the MNI space). Volumes of the left and right amygdalae showed a significant correlation:  $r = .515$ ,  $p < .001$ . Volumes of amygdala were

compared between the two groups using repeated measures ANOVA with a within-subject factor (Side) and a between-subject factor (Group). The effect of Side was not statistically significant ( $F(1, 42) = 0.162$ ,  $p = .690$ ,  $\eta_p^2 = .004$ ), meaning that there was no systematic difference in the ROI volume across hemispheres. An interaction of factors Side  $\times$  Group was also not significant ( $F(1, 42) = 2.797$ ,  $p = .102$ ,  $\eta_p^2 = .062$ ), but a significant effect of Group was revealed ( $F(1, 42) = 7.176$ ,  $p = .011$ ,  $\eta_p^2 = .146$ ): mean volume of the outlined ROIs in the amygdala was larger in the experimental group than in the control group. Due to this initial between-group anatomical difference, the average volume of the left and right amygdalae in each participant was included as a covariate in the main ANOVA of the BOLD signal change values.

Radii of spherical ROIs in the auditory cortex were computed on the basis of the corresponding amygdala ROI volume and were 7 mm in the left and 6 mm in the right hemisphere. The mean MNI coordinates of the sphere center were  $-53 \pm 1$ ,  $-24 \pm 3$ ,  $-13 \pm 2$  (left hemisphere) and  $53 \pm 1$ ,  $-22 \pm 4$ ,  $14 \pm 2$  (right hemisphere).



**Figure 6.** Mean values and standard deviations of percent BOLD signal change in the visual cortex evoked by the three categories of IAPS images in participants of different sexes.

The average volume of ROI in the visual cortex was  $81418 \pm 1226 \text{ mm}^3$  in the left and  $79795 \pm 1683 \text{ mm}^3$  in the right hemisphere. Repeated measures ANOVA showed a significant difference between the volumes of the right and left ROIs ( $F(1,42) = 129.007, p < .001, \eta^2_p = .754$ ) but no significant effect of Group ( $F(1,42) = 0.757, p = .389, \eta^2_p = .003$ ) nor any Side  $\times$  Group interaction ( $F(1,42) = 0.116, p = .735, \eta^2_p = .018$ ).

ROI Analysis of the BOLD-Signal Change

The percentage of BOLD signal change was calculated for each ROI (amygdala, visual cortex and auditory cortex), each side and each image category (positive, negative or neutral). Descriptive statistics of these data (mean values and standard deviations) for the experimental and control groups are shown in Table 2.

Mean BOLD-signal change was compared using repeated measures ANOVA with three within-subject factors: ROI (amygdala, auditory cortex or visual cortex)

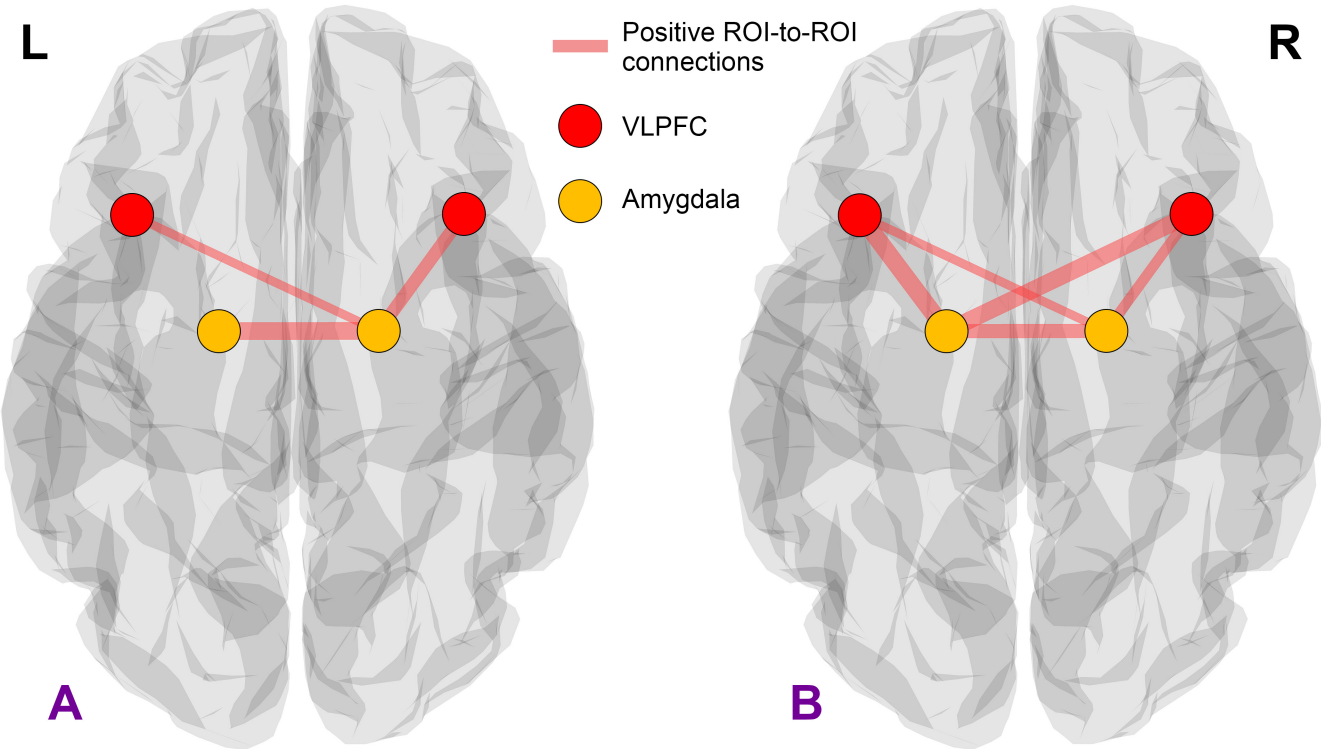
**Table 6.** Results of the Follow-Up One-Way rmANOVAs of the Percent BOLD Signal Change in the Auditory Cortex Separately in the Experimental and Control Groups (Within-Group Factor Image Category; Between-Subject Covariates: Sex and Average Volume of the Amygdala)

| Source   | df     | F      | p    | $\eta^2_p$ |
|--|--------|--------|------|------------|
| Experimental group (memory task)                       |        |        |      |            |
| Image Category   | 2      | 0.804  | .455 | .041       |
| Image Category $\times$ Sex                            | 2      | 0.100  | .905 | .005       |
| Image Category $\times$ Average Volume of the Amygdala | 2      | 0.082  | .921 | .004       |
| Error (Image Category)                                 | 38     |        |      |            |
| Control group (passive viewing task)                   |        |        |      |            |
| Image Category   | 1.339* | 11.776 | .001 | .383       |
| Image Category $\times$ Sex                            | 2      | 0.393  | .678 | .020       |
| Image Category $\times$ Average Volume of the Amygdala | 2      | 0.356  | .703 | .018       |
| Error (Image Category)                                 | 38     |        |      |            |

Note: \* Greenhouse-Geisser correction applied.

$\times$  Side (left or right)  $\times$  Image Category (erotic, mutilation or neutral) and the between-subject factor Task (memory task or passive viewing) with two covariates: Sex and Average Volume of the Amygdala.

In the main and follow-up rmANCOVAs, the sphericity of the covariance matrix was tested using Mauchly’s test. The equality of the covariance matrices for independent variables was tested with Box’s M test. Upon violation of the sphericity assumption, the Greenhouse–Geisser correction for the degrees of freedom was applied.



**Figure 7.** Chart of the functional connectivity between the left and right amygdalae (AMY) and the left and right ventrolateral prefrontal cortices (VLPFC) during (A) passive viewing and (B) memorization of mutilation images.

Results of the rmANCOVA are shown in Table 3. The analysis showed no statistically significant 4-way interaction (ROI×Side×Image Category×Task). At the same time, significant 3-way interactions were found for ROI×Image Category×Task and ROI×Side×Task. Thus, the results differed for the amygdala and control ROIs.

To examine the 3-way interactions we conducted two series of rmANCOVAs for each ROI. We first tested the effect of Task as a between-subject factor and Side as a within-subject factor with the data averaged across Image Category. Then we tested the effect of Task as a between-subject factor and Image Category as a within-subject factor with the data averaged across Side. Sex and Average Volume of the Amygdala were included as covariates into all analyses. The results are shown in Tables 4 and 5 and in Figures 4 and 5.

In the amygdala, a significant Task×Side interaction was revealed. The main effects of the two factors were not statistically significant. In the memory task group, the BOLD-signal change was greater in the right than the left amygdala ( $F(1, 19) = 4.717, p = .043, \eta^2_p = .199$ ), and vice versa for the passive viewing group ( $F(1, 19) = 3.883, p = .064, \eta^2_p = .170$ ).

A main effect of Side was found in the visual cortex, while the effects of Task and the interaction of factors were not significant. In both groups the BOLD-signal change was greater in the right than the left visual cortex. Neither Task nor Side nor any Task×Side interaction affected the BOLD-signal change in the auditory cortex.

With the BOLD-signal change values averaged across both amygdalae, a main effect of Image Category, but not Task, was found. The Image Category×Task interaction was not significant. Pairwise comparisons revealed significant differences within all pairs of image categories ( $p_s < .001$ , Bonferroni corrected). When compared to the neutral images, images of mutilations induced greater BOLD-signal increases than images of erotica.

A similar pattern was observed in the visual cortex. A significant main effect of Image Category, but not Task, was revealed, and no significant interaction of the factors was found. Pairwise comparisons showed significant differences between pictures of both erotica and mutilation versus neutral images ( $p_s < .001$ , Bonferroni corrected), but not between the positive and negative emotional images. A significant interaction was also observed between Image Category and Sex ( $p = .035$ ). The response of the visual cortex to different image categories in men and women is illustrated in Figure 6.

For the BOLD signal change in the auditory cortex, a significant main effect of Image Category was found, as was an interaction of Image Category×Task, but there was no effect of Task. To interpret the interaction, a one-way rmANCOVA was conducted separately for the experimental and control groups with Image Category as a within-subject factor (Sex and Average Volume of the Amygdala were again included as covariates). The results are presented in Table 6. We found a significant influence of Image Category on the BOLD signal change in the auditory cortex, but only in the passive viewing group. Pairwise comparisons in this group revealed significant differences between all pairs of image categories ( $p = .039$  for neutral vs. erotica images;  $p = .001$  for neutral vs. mutilation images;  $p = .008$  for mutilation

vs. erotica images, all Bonferroni corrected). Mutilation images elicited a greater decrease in the BOLD signal when compared to neutral images than that from erotica images.

### Additional Analysis of Functional Connectivity between the Amygdala and VLPFC

The strength of connections between the amygdala and VLPFC was compared across conditions with a GLM model and contrasts analogous to a MANOVA and the series of follow-up rmANCOVAs as implemented in CONN software. The first analysis examined the effects of two within-subject factors: Side (left or right) × Image Category (mutilation, erotica and neutral pictures) and Task as a between-subject factor (memory task or passive viewing) with Sex and Average Volume of the Amygdala as covariates. Two separate analyses of amygdala connections with the left and the right VLPFC were performed, and the FDR correction accounting for the number of target ROIs was applied. A significant 3-way interaction was found for both the left and right VLPFC ( $p_{corr} < .001$ ). To examine the interaction, three separate contrasts were computed for each image category. There was a significant effect of the Side×Task interaction on connectivity only for mutilation images:  $F(1, 40) = 5.54, p_{corr} = .026$  for the left VLPFC and  $F(1, 40) = 5.38, p_{corr} = .026$  for the right VLPFC. For the memory task and mutilation images, there was a significant difference between the connections of the left and right amygdalae and the left VLPFC ( $F(1, 41) = 7.62, p_{corr} = .017$ ), but not the right VLPFC ( $F(1, 41) = 2.66, p_{corr} = .111$ ). No significant laterality in connections between the amygdala and the VLPFC was found in the passive viewing of mutilation images (see Figure 7).

## Discussion

An abundance of research indicates that an extra cognitive task distracting one's attention from the emotional content of stimuli down-regulates activation of the amygdala. This effect may be accounted for by two hypothetical mechanisms. The first mechanism implies reallocation of attentional resources with increasing mental load in a way described by the theory of perceptual load (Lavie, 1995): under high mental load associated with a difficult cognitive task, one's information processing system lacks attentional resources that might be allocated to the emotional content of the perceived stimuli. Although it is commonly assumed that this mechanism involves regulation of the amygdala response, its neuroanatomical and neurophysiological details are not described. The second mechanism of "cognitive modulation" suggests that the brain structures engaged in affective processing, including the amygdala, may experience an inhibitory effect from the brain regions underlying the performance of the cognitive task, primarily the prefrontal cortex (McRae et al., 2010).

Interestingly, the literature also suggests that if one is engaged in a cognitive task which does not draw one's attention away from the emotional content of stimuli, but on the contrary directly addresses this emotional content (for example, verbal labeling or cognitive reappraisal of the emotion), the amygdala response also decreases. This suggestion can also be considered as evidence favoring the "cognitive modulation" mechanism (McRae et al., 2010).

In the present study we examined a third option, in which the cognitive task at hand attracts attention to the emotional stimuli presented in the visual field, but does not specifically attract attention to the emotional content of these stimuli. We selected a memory task to satisfy this criterion. In the fMRI study we compared amygdala activation evoked by emotional and neutral images when participants either performed a memory task or passively viewed the same picture set. On the one hand, we expected an increase in amygdala response during the memory task compared to passive viewing of emotional pictures since the memory task is associated with an extra allocation of attention towards the emotional material to be remembered. On the other hand, the amygdala activation may be down-regulated by cognitive modulation similar to what happens when the cognitive task directly addresses the emotional content of the material (verbal labeling, subjective rating or reappraisal of emotion).

Our results fit neither of the original predictions: the introduction of the memory task did not increase or decrease amygdala responses towards the emotional stimuli, but rather resulted in lateralization of the amygdala activation. The memory task induced a rightward asymmetry of the BOLD signal change in the amygdala, and passive viewing induced a leftward asymmetry. The absence of a statistically significant ROI  $\times$  Side  $\times$  Image Category interaction implies that the observed task-specific shift in lateralization of the amygdala response was not limited to the processing of the emotional images.

Meanwhile, the overall pattern of our results is consistent with the literature on amygdala responses to emotional images. According to many studies (see Aldhafeeri, Mackenzie, Kay, Alghamdi, & Sluming, 2012 for a review), even when positive and negative emotional stimuli are balanced with respect to the arousal scores, the amygdala activation increases only for the negative images versus neutral ones. However, there is evidence that positive images with high arousal scores, including the images of erotica, also evoke significant BOLD-signal increases in the amygdala (Sabatinelli, Bradley, Fitzsimmons, & Lang, 2005; Sabatinelli, Lang, Bradley, Costa, & Keil, 2009). According to our data, amygdala activation significantly increases when participants look at the emotional versus neutral images; however, the amygdala response is significantly higher for negative (mutilation) than for positive (erotica) images, which is consistent with both trends described in the literature. Since in our study the positive and negative images were balanced by the arousal scores, the revealed differences are believed to reflect the effect of emotional valence rather than arousal.

We also excluded the possible explanation of cultural specificity of the IAPS images as perceived by the Russian sample. Such specific subjective rating has been demonstrated in Russian participants for a subset of IAPS images (Vasnov, Marchenko, & Mashanlo, 2011). While full standardization of the IAPS image set has not yet been conducted in a Russian population, we compared the scores obtained from a Russian sample (O. Marchenko, unpublished data) and the initial scores from the IAPS manual (Lang et al., 2008). The Russian norms were available for 31 of the 54 images used as stimuli in the present study (see Table 1). Significant differences between

the scores obtained in American and Russian populations were found for the Valence dimension ( $t(30) = 3.493$ ,  $p = .002$ ). The Russians evaluated neutral and positive images more positively than the Americans. At the same time, there were no significant differences in Arousal scores collected in the two cultures ( $t(30) = 0.587$ ,  $p = .575$ ), which supports our conclusion that the observed pattern of amygdala activation evoked by different image categories captures specific responses to image valence.

Greater activation in the visual cortex evoked by the affective rather than neutral pictures also lines up well with the literature (Sabatinelli et al., 2005, 2009; Britton, Taylor, Sudheimer, & Liberzon, 2006). The amygdala has plenty of anatomical connections with the visual cortex (Amaral, Behnia, & Kelly, 2003). Also, there is substantial evidence for modulation of the visual cortex response to emotional stimuli by the amygdala (Vuilleumier, Richardson, Armony, Driver, & Dolan, 2004; Phelps & LeDoux, 2005). In particular, Pessoa (Pessoa, 2008; Pessoa & Adolphs, 2010) suggests that the amygdala is an important component of the attentional brain circuit, and it would be wrong to consider the relationship of the amygdala and the visual cortex as an interaction between separable “cognitive” and “affective” brain systems. Even the data demonstrating the preserved enhanced response of the visual cortex towards affective stimuli in patients after unilateral resection of the amygdala (Edmiston et al., 2013) may question the theory on the role of the amygdala in visual attention, but not the effect per se.

A pronounced lateralization of activation in the visual cortex (in most participants, the BOLD signal change was greater in the right visual cortex ROI regardless of the task and image category) has also been described in the literature, but was discovered only recently and apparently represents an individual functional lateral asymmetry in the visual system which correlates with the respective asymmetry of the gray matter volume in the primary visual cortex (Hougaard et al., 2015).

While the activation in the amygdala did not change across participants of different sexes, we observed a greater response of the visual cortex to the erotica pictures in males than females. Gender differences in visual perception of the erotic stimuli were reported in a number of behavioral and neuroimaging studies. In particular, our results are consistent with the early works by Sabatinelli, Flaisch, Bradley, Fitzsimmons, and Lang (2004). The mechanisms underlying this difference are not yet clear. One possible explanation appeals to the fact that men and women practice different attentional strategies when looking at the erotic images (Rupp & Wallen, 2007).

Different effects of Task and Image Category manipulations upon the activation in the amygdala and in the control ROIs rules out the possibility that any of these effects originate from global changes in the BOLD signal. Although we initially assumed that the task and emotional content of the stimuli do not likely have any effect on the auditory cortex (which is why it was selected as a control ROI), effects of Image Category and interaction of Image Category with Task were revealed in the auditory cortex (but no lateralization of response was found). Under all conditions except the passive viewing of the emotionally neutral pictures, a negative BOLD signal change in the

auditory cortex was observed (the MR signal was lower than the baseline). We suggest that the observed decrease in the BOLD signal may partially reveal how reallocation of attentional resources is implemented in the brain under the high perceptual or mental load that emerges when participants attend to highly biologically significant visual stimuli or when they are engaged in a highly demanding cognitive task. Accepting this explanation, we may also suggest that the pattern of activation observed in our study may manifest the neural correlates of a recently discovered phenomenon of “inattentive deafness”, a failure to perceive the auditory stimuli manifesting under a high perceptual load in the visual modality (MacDonald & Lavie, 2011). So far, no fMRI studies have addressed the neural correlates of this effect, but an MEG study demonstrated that an increase of the task-relevant visual load results in a decrease of the auditory cortex responses to the task-irrelevant stimuli (Molloy, Griffiths, Chait, & Lavie, 2015).

Therefore, some of our findings may be explained as a result of the reallocation of attentional resources under a high perceptual or mental load. The load increases with either biological significance of the affective pictures or the requirement to memorize them. However, the task-specific lateralization of amygdala responses cannot be accounted for by the perceptual load mechanism. Alternative explanations suggest either functional asymmetry of the amygdala that manifests under certain task-specific conditions, or a specific pattern of “cognitive modulation” of the amygdala response by the prefrontal cortex.

Existing evidence on functional asymmetry of the amygdala suggests that the left amygdala is more involved in the processing of auditory affective information (speech prosody; Frühholz et al., 2015) while the right amygdala contributes to the processing of visual affective information (such as identification of emotion in facial expressions; Golouboff et al., 2008; Meletti, 2003). Additionally, several authors suggest that the right amygdala is engaged in fast automatic detection of threats, while the left processes affective information in a slower and more detailed manner (Glascher & Adolphs, 2003; Sergerie, Chochol, & Armony, 2008). The latter theory is supported by asymmetry in the temporal characteristics of amygdala responses with the right amygdala manifesting faster dynamics than the left (Wright et al., 2001; Sergerie et al., 2008; Kohno, Noriuchi, Iguchi, Kikuchi, & Hoshi, 2015). Finally, McMenamin and Marsolek (2013) proposed a theory that the functional asymmetry of the amygdala reflects the manner of visual affective processing: the left amygdala is involved in the processing of local features (attention to parts) while the right is involved in the processing of global features (attention to the whole).

None of these theories accounts for the pattern of results obtained in the present study. The absence of a significant Task  $\times$  Side  $\times$  Image Category interaction implies that the lateralization effect was manifested regardless of whether the stimuli were emotional or neutral. This excludes the idea that the right amygdala may be more engaged in the memory task since this task requires deeper processing of visual emotional information. Two other theories predict a pattern of results opposite to the one we observed. The theory of rapid automatic vs. slow detailed affective processing predicts

greater activation of the right amygdala in passive viewing. The holistic perception promoting the engagement of the right amygdala is also believed to characterize the passive viewing condition rather than the memory task.

Interestingly, Townsend et al. (2013, see Figure 1) also reported the lateralization of amygdala activation in participants passively viewing IAPS pictures, although they neither reported the statistical analysis of this effect nor did they discuss it in their paper. Consistent with the theories of functional asymmetry of the amygdala and contrary to our findings, the figure provided by Townsend and colleagues demonstrates a rightward lateralization of the response. Similar rightward asymmetry was also observed by Diers et al. (2014) who studied the role of task (passive viewing or active “permission” for emotions evoked by a picture) in amygdala response to affective pictures. We believe that the discrepancy between our results and those obtained by Townsend et al. and Diers et al. may be explained by the difference in the study design. A between-subject design (as in our study) guarantees that the passive viewing group does not receive any other instructions, while the within-subject design implemented in previous studies required that participants rapidly change their mindset according to the current instruction (passive viewing alternating with the instruction to control emotional responses, or with “permitting” instructions). This hypothesis requires empirical testing.

The theory of cognitive modulation of amygdala activity by the prefrontal cortex implies an important role of the connections of the amygdala with the prefrontal cortex, especially the VLPFC (Townsend et al., 2013; Kohno et al., 2015). According to an early model of emotion generation proposed by Ochsner et al. (2009), the VLPFC contributes to the neural circuit underlying bottom-up emotion generation. In order to unravel the possible contribution of the VLPFC to the shift of lateralization of the amygdala response induced by the memory task in our study, we additionally compared the functional connectivity of the left and right amygdalae with the left and right VLPFC (Brodmann areas 44, 45, 47) in both groups and for each image category.

The observed interaction between the effects of Task, Image Category and Side on connectivity between the amygdala and VLPFC originates from strengthening the connections between the left amygdala to both the left and right VLPFC when a participant performs a memory task for mutilation images. At the same time, in this condition the BOLD signal change was smaller in the left than in the right amygdala. The correlational nature of the connectivity analysis prevents us from drawing a direct conclusion that the observed correlation demonstrates the cognitive modulation mechanism at work. It is equally possible that the decrease in the BOLD response in the amygdala to the mutilation stimuli is accompanied by the strengthening of connections to the VLPFC because of the top-down modulation of the amygdala from the prefrontal cortex, or because of the bottom-up influences on the VLPFC from the amygdala within the bottom-up emotion generation circuit (Ochsner et al., 2009).

Thus, we obtained indirect evidence for the engagement of both mechanisms, namely cognitive modulation and reallocation of attentional resources under

high perceptual load, in the memorization of affective and neutral images. Further research testing each of the revealed effects is needed to determine how these two hypothetical mechanisms interplay to produce a certain configuration of the functional system supporting the cognitive task accomplishment.

Our findings are also of certain methodological importance, since memory tasks and some other cognitive tasks are often used in fMRI experiments as a tool helping researchers to maintain participants' attention to stimuli. Our data demonstrate that the assumption that such extra cognitive tasks do not intervene in the neural processes of interest may not hold true, especially if the processes of interest are related to affective processing.

### Limitations of the Present Study

In the present study, information about the location of the veins of Rosenthal was not collected. Veins of Rosenthal drain the midbrain structures, and, according to recent research (Boubela et al., 2015), may confound the BOLD signal change in the amygdalae.

## Conclusions

ROI analysis of the BOLD signal change in the amygdala revealed a lateralization effect in the comparison of responses to visual scenes during passive viewing and a memory task. In the passive viewing group, a greater activation was observed in the left amygdala, while in the memory task group a rightward lateralization was found. Effects of task and emotional valence of the stimuli upon the strength of connections between the amygdala and the VLPFC were also observed, with the most pronounced strengthening of the connection between the left amygdala and the left VLPFC during memorization of the mutilation images. This finding indicates that the effect of cognitive task upon amygdala responses may emerge from the reconfiguration of the functional connections between the prefrontal cortex and the amygdala. A more detailed description of the observed effects in terms of possible reorganization of the neural circuits with respect to the task at hand requires further research focused on the connectivity analysis. The "inattentive deafness" effect and the functional asymmetry in the visual cortex, described in the control part of our study, also invite for future research.

## References

- Aldhafeeri, F.M., Mackenzie, I., Kay, T., Alghamdi, J., & Sluming, V. (2012). Regional brain responses to pleasant and unpleasant IAPS pictures: different networks. *Neuroscience Letters*, 512, 94–98. doi:10.1016/j.neulet.2012.01.064
- Amaral, D.G., Behniea, H., & Kelly, J.L. (2003). Topographic organization of projections from the amygdala to the visual cortex in the macaque monkey. *Neuroscience*, 118(4), 1099–1120. doi:10.1016/s0306-4522(02)01001-1
- Anderson, A.K. (2007). Feeling emotional: the amygdala links emotional perception and experience. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2(2), 71–72. doi:10.1093/scan/nsm022
- Anderson, A.K., Christoff, K., Panitz, D., De Rosa, E., & Gabrieli, J.D.E. (2003). Neural correlates of the automatic processing of threat facial signals. *The Journal of Neuroscience*, 23(13), 5627–5633. doi:10.1016/S0896-6273(03)00504-X
- Banks, S.J., Eddy, K.T., Angstadt, M., Nathan, P.J., & Phan, K.L. (2007). Amygdala–frontal connectivity during emotion regulation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2(4), 303–312. doi:10.1093/scan/nsm029
- Beauregard, M., Levesque, J., & Bourgouin, P. (2001). Neural correlates of conscious self-regulation of emotion. *The Journal of Neuroscience*, 21(18), 6993–7000.
- Berpohl, F., Pascual-Leone, A., Amedi, A., Merabet, L.B., Fregni, F., Gaab, N., Alsop, D., Schlaug, G., & Northoff, G. (2006). Attentional modulation of emotional stimulus processing: an fMRI study using emotional expectancy. *Human Brain Mapping*, 27(8), 662–677. doi:10.1002/hbm.20209
- Blair, K.S., Smith, B.W., Mitchell, D.G.V., Morton, J., Vythilingam, M., Pessoa, L., Fridberg, D., Zametkin, A., Nelson, E.E., Drevets, W.C., Pine, D.S., Martin, A., & Blair, R.J.R. (2007). Modulation of emotion by cognition and cognition by emotion. *Neuroimage*, 35(1), 430–440. doi:10.1016/j.neuroimage.2006.11.048
- Bleich-Cohen, M., Mintz, M., Pianka, P., Andelman, F., Rotshstein, P., & Hendler, T. (2006). Differential stimuli and task effects in the amygdala and sensory areas. *Neuroreport*, 17(13), 1391–1395. doi:10.1097/01.wnr.0000215772.68979.f4
- Boubela, R.N., Kalcher, K., Huf, W., Seidel, E.-M., Derntl, B., Pezawas, L., Našel, C., & Moser, E. (2015). fMRI measurements of amygdala activation are confounded by stimulus correlated signal fluctuation in nearby veins draining distant brain regions. *Scientific Reports*, 5, 10499:1–15. doi:10.1038/srep10499
- Bradley, M.M., & Lang, P. (2007). The International Affective Picture System (IAPS) in the study of emotion and attention. In J.A. Coan, & J.J.B. Allen (Eds.), *Handbook of emotion elicitation and assessment* (pp. 29–46). New-York, NY, USA: Oxford University Press.
- Brett, M., Anton, J.-L., Valabregue, R., & Poline, J.-B. (2002). Region of interest analysis using the MarsBar toolbox for SPM 99. *Neuroimage*, 16(2), S497.
- Britton, J.C., Taylor, S.F., Sudheimer, K.D., & Liberzon, I. (2006). Facial expressions and complex IAPS pictures: common and differential networks. *Neuroimage*, 31(2), 906–919. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.12.050
- Canli, T., Zhao, Z., Brewer, J., Gabrieli, J.D., & Cahill, L. (2000). Event-related activation in the human amygdala associates with later memory for individual emotional experience. *Journal of Neuroscience*, 20(19), RC99:1–5.
- Compton, R.J., Banich, M.T., Mohanty, A., Milham, M.P., Herington, J., Miller, G.A., Scaif, P.E., Webb, A., & Heller, W. (2003). Paying attention to emotion. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3(2), 81–96. doi:10.3758/CABN.3.2.81
- Critchley, H., Daly, E., Phillips, M., Brammer, M., Bullmore, E., Williams, S., Van Amelsvoort, T., Robertson, D., David, A., & Murphy, D. (2000). Explicit and implicit neural mechanisms for processing of social information from facial expressions: a functional magnetic resonance imaging study. *Human Brain Mapping*, 9(2), 93–105.
- Desbordes, G., Negi, L.T., Pace, T.W., Wallace, B.A., Raichlen, C.L., & Schwartz, E.L. (2012). Effects of mindful-attention and compassion meditation training on amygdala response to emotional stimuli in an ordinary, non-meditative state. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 292:1–15. doi:10.3389/fnhum.2012.00292
- Diers, K., Weber, F., Brocke, B., Strobel, A., & Schönfeld, S. (2014). Instructions matter: a comparison of baseline conditions for cognitive emotion regulation paradigms. *Frontiers in Psychology*, 5, 347:1–11. doi:10.3389/fpsyg.2014.00347
- Edmiston, E.K., McHugo, M., Dukic, M.S., Smith, S.D., Abou-Khalil, B., Eggers, E., & Zald, D.H. (2013). Enhanced visual cortical activation for emotional stimuli is preserved

- in patients with unilateral amygdala resection. *The Journal of Neuroscience*, 33(27), 11023–11031. doi:10.1523/JNEUROSCI.0401-13.2013
- Frühholz, S., Hofstetter, C., Cristinzio, C., Saj, A., Seeck, M., Vuilleumier, P., & Grandjean, D. (2015). Asymmetrical effects of unilateral right or left amygdala damage on auditory cortical processing of vocal emotions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(5), 1583–1588. doi:10.1073/pnas.1411315112
- Gläscher, J., & Adolphs, R. (2003). Processing of the arousal of subliminal and supraliminal emotional stimuli by the human amygdala. *The Journal of Neuroscience*, 23(32), 10274–10282.
- Golouboff, N., Fiori, N., Delalande, O., Fohlen, M., Dellatolas, G., & Jambaqué, I. (2008). Impaired facial expression recognition in children with temporal lobe epilepsy: impact of early seizure onset on fear recognition. *Neuropsychologia*, 46(5), 1415–1428. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2007.12.019
- Gorno-Tempini, M.L., Pradelli, S., Serafini, M., Pagnoni, G., Baraldi, P., Porro, C., Nicoletti, R., Umita, C., & Nichelli, P. (2001). Explicit and incidental facial expression processing: an fMRI study. *Neuroimage*, 14(2), 465–473. doi:10.1006/nimg.2001.0811
- Hamann, S. (2005). Sex differences in the responses of the human amygdala. *The Neuroscientist*, 11(4), 288–293. doi:10.1177/1073858404271981
- Hariri, A.R., Bookheimer, S.Y., & Mazziotta, J.C. (2000). Modulating emotional responses: effects of a neocortical network on the limbic system. *Neuroreport*, 11(1), 43–48. doi:10.1097/00001756-200001170-00009
- Hariri, A.R., Mattay, V.S., Tessitore, A., Fera, F., & Weinberger, D.R. (2003). Neocortical modulation of the amygdala response to fearful stimuli. *Biological Psychiatry*, 53(6), 494–501. doi:10.1016/S0006-3223(02)01786-9
- Hoffmann, M., Lipka, J., Mothes-Lasch, M., Miltner, W.H., & Straube, T. (2012). Awareness modulates responses of the amygdala and the visual cortex to highly arousing visual threat. *NeuroImage*, 62(3), 1439–1444. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.05.064
- Hougaard, A., Jensen, B.H., Amin, F.M., Rostrup, E., Hoffmann, M.B., & Ashina, M. (2015). Cerebral asymmetry of fMRI-BOLD responses to visual stimulation. *PLOS ONE*, 10(5), e0126477. doi:10.1371/journal.pone.0126477
- Keightley, M.L., Winocur, G., Graham, S.J., Mayberg, H.S., Hevenor, S.J., & Grady, C.L. (2003). An fMRI study investigating cognitive modulation of brain regions associated with emotional processing of visual stimuli. *Neuropsychologia*, 41(5), 585–596. doi:10.1016/S0028-3932(02)00199-9
- Kellermann, T.S., Sternkopf, M.A., Schneider, F., Habel, U., Turetsky, B.I., Zilles, K., & Eickhoff, S.B. (2012). Modulating the processing of emotional stimuli by cognitive demand. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 7(3), 263–273. doi:10.1093/scan/nsq104
- Kohn, S., Noriuchi, M., Iguchi, Y., Kikuchi, Y., & Hoshi, Y. (2015). Emotional discrimination during viewing unpleasant pictures: timing in human anterior ventrolateral prefrontal cortex and amygdala. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 51:1–7. doi:10.3389/fnhum.2015.00051
- Lang, P.J., Bradley, M.M., & Cuthbert, B.N. (2008). *International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical report A-8*. Gainesville, FL: University of Florida.
- Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(3), 451–468. doi:10.1037//0096-1523.21.3.451
- Liberson, I., Taylor, S.F., Fig, L.M., Decker, L.R., Koepp, R.A., & Minoshima, S. (2000). Limbic activation and psychophysiologic responses to aversive visual stimuli: Interaction with cognitive task. *Neuropsychopharmacology*, 23(5), 508–516. doi:10.1016/S0893-133X(00)00157-3
- Lieberman, M.D., Eisenberger, N.I., Crockett, M.J., Tom, S.M., Pfeifer, J.H., & Way, B.M. (2007). Putting feelings into words affect labeling disrupts amygdala activity in response to affective stimuli. *Psychological Science*, 18(5), 421–428. doi:10.1111/j.1467-9280.2007.01916.x
- Macdonald, J.S.P., & Lavie, N. (2011). Visual perceptual load induces inattentional deafness. *Attention, Perception & Psychophysics*, 73(6), 1780–1789. doi:10.3758/s13414-011-0144-4
- Maldjian, J.A., Laurienti, P.J., Kraft, R.A., & Burdette, J.H. (2003). An automated method for neuroanatomic and cytoarchitectonic atlas-based interrogation of fMRI data sets. *Neuroimage*, 19(3), 1233–1239. doi:10.1016/S1053-8119(03)00169-1
- Mazaika, P.K., Hoeft, F., Glover, G.H., & Reiss, A.L. (2009). Methods and software for fMRI analysis of clinical subjects. *Neuroimage*, 47(Supplement 1), S58. doi:10.1016/S1053-8119(09)70238-1
- McMenamin, B.W., & Marsolek, C.J. (2013). Can theories of visual representation help to explain asymmetries in amygdala function? *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 13(2), 211–224. doi:10.3758/s13415-012-0139-1
- McRae, K., Hughes, B., Chopra, S., Gabrieli, J.D.E., Gross, J.J., & Ochsner, K.N. (2009). The neural bases of distraction and reappraisal. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(2), 248–262. doi:10.1162/jocn.2009.21243
- Meletti, S. (2003). Damage to the right hippocampal-amygdala formation during early infancy and recognition of fearful faces: Neuropsychological and fMRI evidence in subjects with temporal lobe epilepsy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1000, 385–388. doi:10.1196/annals.1280.036
- Miller, G.A., & Chapman, J.P. (2001). Misunderstanding analysis of covariance. *Journal of Abnormal Psychology*, 110(1), 40–48. doi:10.1037//0021-843X.110.1.40
- Mitchell, D.G.V., Nakic, M., Fridberg, D., Kamel, N., Pine, D.S., & Blair, R.J.R. (2007). The impact of processing load on emotion. *Neuroimage*, 34(3), 1299–1309. doi:10.1016/j.neuroimage.2006.10.012
- Molloy, K., Griffiths, T.D., Chait, M., & Lavie, N. (2015). Inattentional deafness: Visual load leads to time-specific suppression of auditory evoked responses. *The Journal of Neuroscience*, 35(49), 16046–16054. doi:10.1523/JNEUROSCI.2931-15.2015
- Morawetz, C., Baudewig, J., Treue, S., & Dechent, P. (2010). Diverting attention suppresses human amygdala responses to faces. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 226:1–14. doi:10.3389/fnhum.2010.00226
- Most, S.B., Chun, M.M., Johnson, M.R., & Kiehl, K.A. (2006). Attentional modulation of the amygdala varies with personality. *Neuroimage*, 31(2), 934–944. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.12.031
- Mothes-Lasch, M., Mentzel, H.-J., Miltner, W.H.R., & Straube, T. (2013). Amygdala activation to fearful faces under attentional load. *Behavioural Brain Research*, 237, 172–175. doi:10.1016/j.bbr.2012.09.033
- Moyal, N., Henik, A., & Anhol, G.E. (2013). Cognitive strategies to regulate emotions — current evidence and future directions. *Frontiers in Psychology*, 4, 1019:1–4. doi:10.3389/fpsyg.2013.01019
- Ochsner, K.N., Bunge, S.A., Gross, J.J., & Gabrieli, J.D. (2002). Rethinking feelings: an FMRI study of the cognitive regulation of emotion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(8), 1215–1229. doi:10.1162/089892902760807212
- Ochsner, K.N., & Gross, J.J. (2005). The cognitive control of emotion. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(5), 242–249. doi:10.1016/j.tics.2005.03.010
- Ochsner, K.N., Ray, R.R., Hughes, B., McRae, K., Cooper, J.C., Weber, J., Gabrieli, J.D.E., & Gross, J.J. (2009). Bottom-Up and top-down processes in emotion generation. Common and distinct neural mechanisms. *Psychological Science*, 20(11), 1322–1331. doi:10.1111/j.1467-9280.2009.02459.x
- Ochsner, K.N., Silvers, J.A., & Buhle, J.T. (2012). Functional imaging studies of emotion regulation: a synthetic review and evolving model of the cognitive control of emotion. *Annals*

- of the *New York Academy of Sciences*, 1251(1), E1–E24. doi:10.1111/j.1749-6632.2012.06751.x
- Öhman, A. (2002). Automaticity and the amygdala: Nonconscious responses to emotional faces. *Current Directions in Psychological Science*, 11(2), 62–66. doi:10.1111/1467-8721.00169
- Okon-Singer, H., Hendler, T., Pessoa, L., & Shackman, A.J. (2015). The neurobiology of emotion–cognition interactions: fundamental questions and strategies for future research. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 58:1–14. doi:10.3389/fnhum.2015.00058
- Paret, C., Kluetsch, R., Ruf, M., Demirakca, T., Hoesterey, S., Ende, G., & Schmahl, C. (2014). Down-regulation of amygdala activation with real-time fMRI neurofeedback in a healthy female sample. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, 299:1–15. doi:10.3389/fnbeh.2014.00299
- Pessoa, L. (2008). On the relationship between emotion and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9, 148–158. doi:10.1038/nrn2317
- Pessoa, L., & Adolphs, R. (2010). Emotion processing and the amygdala: from a 'low road' to 'many roads' of evaluating biological significance. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(11), 773–783. doi:10.1038/nrn2920
- Pessoa, L., Japee, S., Sturman, D., & Ungerleider, L.G. (2006). Target visibility and visual awareness modulate amygdala responses to fearful faces. *Cerebral Cortex*, 16(3), 366–375. doi:10.1093/cercor/bhi115
- Pessoa, L., McKenna, M., Gutierrez, E., & Ungerleider, L. (2002). Neural processing of emotional faces requires attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(17), 11458–11463. doi:10.1073/pnas.172403899
- Pessoa, L., Padmala, S., & Morland, T. (2005). Fate of unattended fearful faces in the amygdala is determined by both attentional resources and cognitive modulation. *Neuroimage*, 28(1), 249–255. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.05.048
- Phan, K.L., Fitzgerald, D.A., Nathan, P.J., Moore, G.J., Uhde, T.W., & Tancer, M.E. (2005). Neural substrates for voluntary suppression of negative affect: a functional magnetic resonance imaging study. *Biological Psychiatry*, 57(3), 210–219. doi:10.1016/j.biopsych.2004.10.030
- Phan, K.L., Wager, T., Taylor, S.F., & Liberzon, I. (2002). Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *Neuroimage*, 16(2), 331–348. doi:10.1006/nimg.2002.1087
- Phelps, E.A., & LeDoux, J.E. (2005). Contributions of the amygdala to emotion processing: from animal models to human behavior. *Neuron*, 48(2), 175–187. doi:10.1016/j.neuron.2005.09.025
- Rorden, C., Karnath, H.-O., & Bonilha, L. (2007). Improving lesion-symptom mapping. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(7), 1081–1088. doi:10.1162/jocn.2007.19.7.1081
- Rupp, H.A., & Wallen, K. (2007). Sex differences in viewing sexual stimuli: An eye-tracking study in men and women. *Hormones and Behavior*, 51(4), 524–533. doi:10.1016/j.yhbeh.2007.01.008
- Sabatinelli, D., Bradley, M.M., Fitzsimmons, J.R., & Lang, P.J. (2005). Parallel amygdala and inferotemporal activation reflect emotional intensity and fear relevance. *NeuroImage*, 24(4), 1265–1270. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.12.015
- Sabatinelli, D., Flaisch, T., Bradley, M.M., Fitzsimmons, J.R., & Lang, P.J. (2004). Affective picture perception: gender differences in visual cortex? *Neuroreport*, 15(7), 1109–1112. doi:10.1097/00001756-200405190-00005
- Sabatinelli, D., Lang, P.J., Bradley, M.M., Costa, V.D., & Keil, A. (2009). The timing of emotional discrimination in human amygdala and ventral visual cortex. *The Journal of Neuroscience*, 29(47), 14864–14868. doi:10.1523/JNEUROSCI.3278-09.2009
- Sanchez, T.A., Mocaiber, I., Erthal, F.S., Joffily, M., Volchan, E., Pereira, M.G., de Araujo, D.B., & Oliveira, L. (2015). Amygdala responses to unpleasant pictures are influenced by task demands and positive affect trait. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 107:1–9. doi:10.3389/fnhum.2015.00107
- Schindelin, J., Rueden, C.T., Hiner, M.C., & Eliceiri, K.W. (2015). The ImageJ ecosystem: An open platform for biomedical image analysis. *Molecular Reproduction and Development*, 82(7–8), 518–529. doi:10.1002/mrd.22489
- Sequeira, H., Hot, P., Silvert, L., & Delplanque, S. (2009). Electrical autonomic correlates of emotion. *International Journal of Psychophysiology*, 71(1), 50–56. doi:10.1016/j.ijpsycho.2008.07.009
- Sergerie, K., Chochol, C., & Armony, J.L. (2008). The role of the amygdala in emotional processing: a quantitative meta-analysis of functional neuroimaging studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32(4), 811–830. doi:10.1016/j.neubiorev.2007.12.002
- Shafer, A.T., Matveychuk, D., Penney, T., O'Hare, A.J., Stokes, J., & Dolcos, F. (2012). Processing of emotional distraction is both automatic and modulated by attention: evidence from an event-related fMRI investigation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(5), 1233–1252. doi:10.1162/jocn\_a.00206
- Simpson, J.R., Öngür, D., Akbudak, E., Conturo, T.E., Ollinger, J.M., Snyder, A.Z., Gusnard, D.A., & Raichle, M.E. (2000). The emotional modulation of cognitive processing: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(Supplement 2), 157–170. doi:10.1162/089892900564019
- Stillman, P.E., Van Bavel, J.J., & Cunningham, W.A. (2015). Valence asymmetries in the human amygdala: Task relevance modulates amygdala responses to positive more than negative affective cues. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27(4), 842–851. doi:10.1162/jocn\_a.00756
- Taylor, S.F., Liberzon, I., & Koeppe, R.A. (2000). The effect of graded aversive stimuli on limbic and visual activation. *Neuropsychologia*, 38(10), 1415–1425. doi:10.1016/S0028-3932(00)00032-4
- Taylor, S.F., Phan, K.L., Decker, L.R., & Liberzon, I. (2003). Subjective rating of emotionally salient stimuli modulates neural activity. *Neuroimage*, 18(3), 650–659. doi:10.1016/S1053-8119(02)00051-4
- Townsend, J.D., Torrisi, S.J., Lieberman, M.D., Sugar, C.A., Bookheimer, S.Y., & Altshuler, L.L. (2013). Frontal-amygdala connectivity alterations during emotion downregulation in bipolar I disorder. *Biological Psychiatry*, 73(2), 127–135. doi:10.1016/j.biopsych.2012.06.030
- Van Dillen, L.F., Heslenfeld, D.J., & Koole, S.L. (2009). Tuning down the emotional brain: an fMRI study of the effects of cognitive load on the processing of affective images. *Neuroimage*, 45(4), 1212–1219. doi:10.1016/j.neuroimage.2009.01.016
- Vasanov, A.Y., Marchenko, O.P., & Mashanlo, A.S. (2011). [Approbation of standard measures of emotional pictures from IAPS system on Russian sample]. *Experimental Psychology (Russia)*, 4(3), 126–132. (In Russian).
- Vasserman, L.I., Dorofeeva, S.A., & Meerson, Y.A. (1997). [Methods of neuropsychological diagnostics. Practice manual]. Saint Petersburg: Pravda. (In Russian).
- Vuilleumier, P., Armony, J.L., Driver, J., & Dolan, R.J. (2001). Effects of attention and emotion on face processing in the human brain: an event-related fMRI study. *Neuron*, 30(3), 829–841. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896627301003282>.
- Vuilleumier, P., Richardson, M.P., Armony, J.L., Driver, J., & Dolan, R.J. (2004). Distant influences of amygdala lesion on visual cortical activation during emotional face processing. *Nature Neuroscience*, 7(11), 1271–1278. doi:10.1038/nn1341
- Vul, E., & Kanwisher, N. (2010). Begging the question: The non-independence error in fMRI data analysis. In J. Hanson, & M. Bunzl (Eds.), *Foundational issues for human brain mapping* (pp. 71–91). Cambridge, MA: MIT Press. doi:10.7551/mitpress/9780262014021.003.0007
- Wager, T.D., Phan, K.L., Liberzon, I., & Taylor, S.F. (2003). Valence, gender, and lateralization of functional brain anatomy in emotion: a meta-analysis of findings from neuroimaging. *Neuroimage*, 19(3), 513–531. doi:10.1016/S1053-8119(03)00078-8

- Whalen, P.J., Rauch, S.L., Etcoff, N.L., McInerney, S.C., Lee, M.B., & Jenike, M.A. (1998). Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *The Journal of Neuroscience*, 18(1), 411–418.
- Whitfield-Gabrieli, S., & Nieto-Castanon, A. (2012). Conn: a functional connectivity toolbox for correlated and anticorrelated brain networks. *Brain Connectivity*, 2(3), 125–141. [doi:10.1089/brain.2012.0073](https://doi.org/10.1089/brain.2012.0073)
- Williams, M.A., McGlone, F., Abbott, D.E., & Mattingley, J.B. (2005). Differential amygdala responses to happy and fearful facial expressions depend on selective attention. *Neuroimage*, 24(2), 417–425. [doi:10.1016/j.neuroimage.2004.08.017](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.08.017)
- Williams, M.A., Morris, A.P., McGlone, F., Abbott, D.E., & Mattingley, J.B. (2004). Amygdala responses to fearful and happy facial expressions under conditions of binocular suppression. *The Journal of Neuroscience*, 24(12), 2898–2904. [doi:10.1523/jneurosci.4977-03.2004](https://doi.org/10.1523/jneurosci.4977-03.2004)
- Winston, J.S., O'Doherty, J., & Dolan, R.J. (2003). Common and distinct neural responses during direct and incidental processing of multiple facial emotions. *Neuroimage*, 20(1), 84–97. [doi:10.1016/s1053-8119\(03\)00303-3](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(03)00303-3)
- Winston, J.S., Strange, B.A., O'Doherty, J., & Dolan, R.J. (2002). Automatic and intentional brain responses during evaluation of trustworthiness of faces. *Nature Neuroscience*, 5(3), 277–283. [doi:10.1038/nn816](https://doi.org/10.1038/nn816)
- Wright, C.I., Fischer, H., Whalen, P.J., McInerney, S.C., Shin, L.M., & Rauch, S.L. (2001). Differential prefrontal cortex and amygdala habituation to repeatedly presented emotional stimuli. *Neuroreport*, 12(2), 379–383. [doi:10.1097/00001756-200102120-00039](https://doi.org/10.1097/00001756-200102120-00039)

## ■ экспериментальные сообщения ■

# Влияние мнемической задачи на латерализацию активации в миндалевидном теле при восприятии эмоционально окрашенных изображений

**Людмила Д. Литвинова**

Центр лучевой диагностики Лечебно-реабилитационного центра Минздрава РФ, Москва, Россия

**Роза М. Власова**

Лаборатория CIBORG, департамент радиологии Детского госпиталя Лос-Анджелеса, Калифорния, США;  
Центр лучевой диагностики Лечебно-реабилитационного центра Минздрава РФ, Москва, Россия

**Валентин Е. Синицын**

Центр лучевой диагностики Лечебно-реабилитационного центра Минздрава РФ, Москва, Россия

**Екатерина В. Печенкова**

НИИ нейropsychологии письма и речи, Москва, Россия;

Центр лучевой диагностики Лечебно-реабилитационного центра Минздрава РФ, Москва, Россия

**Аннотация.** Существующие нейрофизиологические исследования механизмов когнитивной регуляции эмоций показывают, что если человек одновременно с восприятием эмоционально окрашенных стимулов выполняет какую-либо когнитивную задачу, то активация в его миндалевидном теле снижается. Как правило, при этом рассматриваются ситуации, в которых когнитивная задача служит отвлечению внимания от эмоционально нагруженных объектов или же когда она непосредственно касается эмоционального содержания, например при категоризации вызываемой эмоции. В данном фМРТ-исследовании мы изучали, каким образом на прирост BOLD-сигнала в миндалевидном теле, вызванный просмотром эмоционально окрашенных изображений, может влиять мнемическая задача, которая подразумевает привлечение внимания к эмоциональным стимулам и не касается напрямую их эмоционального содержания. Сорок четыре человека были разделены на две группы. Во время сканирования испытуемые из контрольной группы пассивно просматривали эмоционально окрашенные (эротика и увечья) и нейтральные изображения, отобранные из Международной базы эмоциональных изображений (IAPS). В экспериментальной группе испытуемых просили запоминать предъявленные изображения с последующим тестом на узнавание. Анализ прироста BOLD-сигнала по зонам интереса показал, что в обеих группах наблюдалась асимметрия активации в миндалевидном теле, вызванной просмотром изображений. При пассивном просмотре выявлен более значительный прирост BOLD-сигнала в левом миндалевидном теле, а под влиянием мнемической задачи латерализация смещалась вправо. Анализ данных по контрольным зонам интереса также позволил зафиксировать эффекты «глухоты по невниманию» в слуховой коре и функциональной асимметрии в зрительной коре. Полученные результаты объясняются в контексте функциональных связей миндалевидного тела с областями первичной сенсорной и префронтальной коры головного мозга.

**Контактная информация:** Людмила Д. Литвинова (автор-корреспондент), [luda\\_l@mail.ru](mailto:luda_l@mail.ru), 125367 Москва, Ивановское шоссе, д. 3, Центр лучевой диагностики ЛРЦ Минздрава; Роза М. Власова, [rvlasova@chla.usc.edu](mailto:rvlasova@chla.usc.edu); Валентин Е. Синицын, [vsini@mail.ru](mailto:vsini@mail.ru); Екатерина В. Печенкова, [evp@virtualcoglab.org](mailto:evp@virtualcoglab.org).

**Ключевые слова:** миндалевидное тело, латерализация, фМРТ, эмоции, мнемическая задача, глухота по невниманию, анализ по зонам интереса, префронтальная кора

© 2016 Людмила Д. Литвинова, Роза М. Власова, Валентин Е. Синицын, Екатерина В. Печенкова. Данная статья доступна по лицензии [Creative Commons "Attribution" \(«Атрибуция»\) 4.0. всемирная](#), 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 благодарны Д.В. Люсину за ценные рекомендации при разработке процедуры, позволяющей регистрировать активацию миндалевидного тела, Е.А. Мершиной за помощь в организации исследования и анонимным рецензентам за содержательное обсуждение и предложения по тексту статьи. Мы также глубоко признательны О.П. Марченко, предоставившей нам в личном сообщении неопубликованные данные стандартизации базы IAPS на российской выборке для контроля возможных культурно-специфических эффектов.

Статья поступила в редакцию 20 июня 2016 г. Принята в печать 30 сентября 2016 г.

## Введение

В то время как проблеме эмоциональной регуляции познания посвящена обширная литература, вопросу обратного влияния познавательных процессов на эмоциональные и возможным психологическим и мозговым механизмам такого влияния уделяется гораздо меньше внимания. Когнитивная регуляция эмоций направлена на изменение эмоционального переживания, а не просто на подавление эмоциональных реакций в поведении. Она может быть непроизвольной или же принимать формы эксплицитных стратегий контроля эмоций и сопровождаться переживанием умственного усилия (Okon-Singer et al., 2015). К. Окснер и Дж. Гросс (Ochsner, Gross, 2005) предлагают описывать множество форм когнитивной регуляции эмоций как континуум, на одном конце которого расположены эффекты отвлечения внимания, а на другом — формы, связанные с преобразованием репрезентаций эмоционально нагруженных объектов, такие как эффекты ожидания, плацебо и когнитивной переоценки (cognitive reappraisal).

Эмоции исходно рассматривались в психологии как психофизиологические процессы, и в качестве объективного критерия для измерения уровня эмоционального возбуждения часто используются физиологические показатели, такие как кожно-гальваническая реакция (обзор: Sequeira et al., 2009). В последнее время в роли подобных объективных показателей начинают выступать нейрофизиологические корреляты эмоций. В этом случае в качестве свидетельства наличия эмоционального переживания исследователи рассматривают активацию лимбических структур головного мозга, прежде всего миндалевидного тела. Это связано с тем, что активация миндалевидного тела часто наблюдается с помощью методов нейровизуализации в ответ на эмоциональные стимулы (Phan et al., 2002; Anderson, 2007) и коррелирует с интенсивностью эмоционального возбуждения (Canli et al., 2000) и кожно-гальванической реакцией (Taylor et al., 2000; Hariri et al., 2003). Одним из ярких свидетельств отождествления возбуждения миндалевидного тела и эмоциональной реакции субъекта является методика биологической обратной связи по фМРТ, разработанная для обучения человека снижению эмоциональной реакции

при виде негативно окрашенных стимулов. В основе этой методики лежит предоставление испытуемому информации об активации его миндалины в режиме реального времени (Paret et al., 2014).

Таким образом, в нейрофизиологических исследованиях, особенно ранних, вопрос о мозговых механизмах когнитивной регуляции эмоций часто переформулировался как вопрос о возможности нисходящих влияний со стороны выполняемой когнитивной задачи на активацию в миндалевидном теле. Результаты целого ряда ранних работ свидетельствовали, что активация миндалевидного тела в ответ на эмоционально окрашенные стимулы является автоматической и не подвержена нисходящим влияниям, в частности не зависит от того, направлено ли на эмоционально нагруженные стимулы внимание человека (Vuilleumier et al., 2001) и осознает ли он их присутствие (Whalen et al., 1998; Williams et al., 2004).

Однако дальнейшие исследования заставили отказаться от столь однозначной трактовки. Было продемонстрировано, что реакция миндалины на эмоционально окрашенные стимулы в том случае, когда стимулы не осознаются, может отсутствовать (Pessoa et al., 2006; Hoffmann et al., 2012). Кроме того, были описаны факты взаимодействия эмоциональной окраски стимулов и состояния внимания. Оказалось, что ожидание появления эмоционально окрашенного изображения приводит к усилению вызванной этим изображением реакции миндалевидного тела (Bermphohl et al., 2006), в то время как пребывание в состоянии медитации уменьшает такую реакцию (Desbordes et al., 2012).

Если испытуемому предлагается задача определить эмоцию, которую выражает лицо человека на картинке, то его внимание привлекается к эмоциональному содержанию изображения, а инструкция определить пол того же самого человека на картинке может рассматриваться как прием отвлечения внимания от эмоционального содержания. В то время как одни исследования показали, что при отвлечении внимания от выражения лица активация миндалины увеличивается (Keightley et al., 2003; Critchley et al., 2000), в других наблюдалось противоположное соотношение (Gorno-Tempini et al., 2001), а в третьих не наблюдалось изменений (Winston et al., 2002; Winston et al., 2003; Bleich-Cohen et al., 2006). При отвлечении про-

странственного (Pessoa et al., 2002; Sanchez et al., 2015) или объектного (Mitchell et al., 2007) внимания от эмоциональной экспрессии лиц реакция миндалины на эмоциональные лица уменьшалась или вовсе не отличалась от реакции на нейтральные фотографии. При активном отвлечении от значения эмоциональных слов в исследовании, направленном на изучение эмоционального эффекта Струпа (Compton et al., 2003), испытуемые демонстрировали меньшую активацию в миндалевидном теле.

Однако в исследовании П. Стиллмана и коллег (Stillman et al., 2015), в котором человека просили представить себя в ситуации, изображенной на одной из двух одновременно предъявленных ему сцен из базы IAPS (International Affective Picture System), эффект отвлечения внимания не был универсальным и наблюдался только для изображений, вызывавших положительные эмоции, тогда как активация миндалевидного тела в ответ на негативно окрашенные фотографии не зависела от того, было на них направлено внимание испытуемого или нет. Взаимодействие факторов внимания и валентности эмоции было обнаружено и в раннем исследовании М.А. Вильямса с коллегами (Williams et al., 2005), где возрастание активации в миндалине при привлечении внимания наблюдалось только при предъявлении радостных лиц, тогда как испуганные лица вызывали большую активацию миндалины в ситуации отвлечения внимания. Было описано также взаимодействие направления внимания не только с валентностью, но и с конкретной модальностью эмоции: А.К. Андерсон и др. (Anderson et al., 2003) обнаружили увеличение реакции миндалины в ситуации отвлечения внимания в ответ на лица, выражающие отвращение, но не на лица, выражающие страх. Кроме того, было также показано, что на зависимость реакции миндалины на эмоциональные стимулы от состояния внимания влияют не только характеристики стимулов, но и личностные черты испытуемых, и что указанная зависимость проявляется только у людей с высокой тревожностью (Most et al., 2006).

Подобная неоднозначная картина эмпирических фактов привела исследователей к идее, что влияние условий и требований стоящей перед испытуемым задачи на активацию лимбических структур может быть рассмотрено с точки зрения теории перцептивной загрузки (Lavie et al., 1995). Согласно этой теории, судьба информации о тех или иных объектах и событиях, находящихся вне фокуса внимания человека, зависит от загрузки системы переработки информации со стороны основной задачи. Если рассматривать эмоциональную оценку как процесс переработки информации, то это может означать, что в ситуации отвлечения внимания от эмоциональной окраски стимулов обработка информации о ней будет происходить чаще при низкой перцептивной нагрузке, когда остается больше доступных ресурсов системы переработки информации, или «ресурсов внимания», чем при высокой, когда дополнительных «ресурсов» не остается (Pessoa et al., 2002). В таком случае результат раннего метаобзора фМРТ- и ПЭТ-исследований (Phan et al., 2002), не показавшего никакого влияния на активацию миндалины самого факта выполнения какой бы то ни было когнитивной

задачи относительно эмоционально окрашенных стимулов (определение пола изображенного лица, эмоции, которую оно выражает, и т.п.), может объясняться тем, что в ранних исследованиях для испытуемых создавались преимущественно условия с низкой перцептивной нагрузкой.

Результаты целой серии исследований продемонстрировали, что это предположение в целом верно. Так, в исследовании К. Блэр и коллег (Blair et al., 2007) показано, что активация в медиальных отделах лобных долей и миндалине, связанная с просмотром эмоционально окрашенных изображений из базы IAPS, значимо ниже, если просмотр этих изображений перемежается выполнением дополнительной когнитивной задачи (модифицированной задачи Струпа). В исследовании Келлермана и коллег (Kellermann et al., 2012) испытуемым необходимо было запомнить предъявленную последовательность движений пальцев руки и через определенный промежуток времени, заполненный просмотром эмоционально окрашенных изображений из базы IAPS, повторить ее. Двигательная последовательность варьировалась по трудности, а эмоциональные изображения — по валентности (положительные, нейтральные и отрицательные). Чем сложнее была двигательная задача, тем менее выраженной была активация в миндалине и орбитофронтальной коре в ответ на эмоциональные стимулы по сравнению с нейтральными. Наличие нисходящих влияний со стороны дополнительной когнитивной задачи, вызывающей высокую нагрузку рабочей памяти, на эмоциональный отклик и активацию миндалины при восприятии эмоционально окрашенных стимулов было показано и в другом исследовании (Van Dillen et al., 2009).

Чем больше требования к вниманию со стороны «конкурирующей» задачи, тем более выражено такое влияние. Об этом свидетельствуют однотипные результаты, полученные в работах с использованием различных задач. В качестве «конкурирующей» задачи выступали задачи зрительного поиска различной степени сложности (Morawetz et al., 2010; Mothes-Lasch et al., 2013); задачи, адресованные к различным уровням обработки информации, — определение регистра, в котором напечатано слово, или количества слогов в слове (Mitchell et al., 2007); а также различные по сложности задачи определения ориентации линий, окружающих эмоциональное лицо (Pessoa et al., 2005). В большинстве экспериментов, проведенных авторами этих работ, при более высокой перцептивной нагрузке реакция миндалевидного тела на предъявление эмоциональных лиц снижалась, а в одном из экспериментов (Mothes-Lasch et al., 2013) даже становилась неотличимой от реакции на нейтральные лица.

Л. Пессоа с коллегами (Pessoa et al., 2005) предположили существование двух механизмов, объясняющих подобный паттерн результатов. Первый может быть описан в терминах теории перцептивной загрузки как недостаток «ресурсов внимания» при выполнении сложной когнитивной задачи. Второй заключается в том, что структуры мозга, обеспечивающие эмоциональную оценку стимулов, могут испытывать тормозящее воздействие со стороны структур, реа-

лизирующих когнитивную задачу. Этот гипотетический механизм они обозначили как «когнитивную модуляцию». О возможном существовании данного механизма свидетельствует полученный Пессоа и коллегами (Pessoa et al., 2005) факт снижения активации в миндалевидном теле при выполнении сложной задачи на различение ориентации линий в отсутствие каких бы то ни было эмоционально окрашенных стимулов.

Таким образом, отвлечение внимания от эмоционального содержания воспринимаемых стимулов, в том числе в процессе выполнения какой-либо не связанной с этим эмоциональным содержанием когнитивной задачи, приводит к снижению активации в миндалевидном теле, что может объясняться как механизмами перераспределения «ресурсов внимания» в условиях повышения перцептивной загрузки, так и когнитивной модуляцией. Но что происходит, когда человек выполняет задачу относительно эмоционального содержания материала? С одной стороны, привлечение внимания к материалу должно привести к усилению реакции миндалевидного тела; с другой стороны, при выполнении задачи может подключиться механизм когнитивной модуляции, который приведет к уменьшению реакции миндалевидного тела.

К задачам, непосредственно касающимся эмоционального содержания материала, могут быть отнесены субъективная оценка переживаемой эмоции (rating), переоценка эмоционального содержания (reappraisal), а также вербальное обозначение эмоции, называние ее словом. Во всех этих трех случаях было показано уменьшение активации в миндалине по сравнению с ситуацией пассивного просмотра эмоционально окрашенных изображений или «погружения» в эмоциональные переживания, вызванные картинкой. Большое количество работ подтвердило уменьшение активации в миндалине в случае переоценки эмоционально нагруженных стимулов, когда испытуемых просят произвести переоценку или за счет переосмысления увиденного, или за счет внутреннего дистанцирования (Ochsner et al., 2002; Phan et al., 2005; обзор в Ochsner, Gross, 2005; Ochsner et al., 2012).

В фМРТ-исследовании С. Бэнкс и коллег (Banks et al., 2007) при когнитивной переоценке было выявлено усиление связей между миндалиной и орбитофронтальной и дорсомедиальной префронтальной корой, которое указывает на торможение со стороны передних отделов лобной коры как на возможный механизм этого эффекта. Аналогично для вербализации было показано, что снижение активации в миндалевидном теле при обозначении эмоции словом (Hariri et al., 2003; Lieberman et al., 2007; Moyal et al., 2013) может сопровождаться усилением активации в префронтальной коре (Lieberman et al., 2007). Наконец, к уменьшению активации в миндалевидном теле может привести и простая оценка предъявляемых изображений как приятных или неприятных, как было показано в ПЭТ-исследовании С. Тэйлора и коллег (Taylor et al., 2003).

Менее изученным является случай, когда человек выполняет относительно эмоционально окрашенную задачу, непосредственно не связанную с эмоциональным содержанием этого материала. Если человек опознает и категоризирует эмоционально окра-

шенные объекты и события, запоминает их или использует для решения какой-либо мыслительной задачи, начинают ли они казаться ему более приятными или неприятными?

Задачи такого рода использовались лишь в небольшом количестве нейровизуализационных исследований. В ПЭТ-исследовании И. Либерзона и др. (Liberzon et al., 2000) сравнивалась активация миндалевидного тела при выполнении двух задач — оценивания картинки как приятной или неприятной и мнемической задачи на узнавание, когда испытуемым было необходимо указать, видели ли они раньше данное изображение в ходе эксперимента. В упоминавшейся выше пионерской работе П. Вюйемьера и др. (Vuilleumier et al., 2001) испытуемые сравнивали два лица или два дома, одновременно присутствовавших на экране, и давали ответ, идентичны они или различаются. В целой серии исследований (Critchley et al., 2000; Gorno-Tempini et al., 2001; Keightley et al., 2003; Bleich-Cohen et al. 2006) использовался экспериментальный прием сравнения активации при выполнении двух задач, одна из которых касается эмоционального содержания материала (например, выражают ли два лица одну и ту же эмоцию), а другая — какого-либо другого аспекта того же материала (например, принадлежат ли два лица людям одного пола или разного). В исследовании А. Шафер и др. (Shafer et al., 2012) испытуемые оценивали соотношение длин сторон эмоционально окрашенной фотографии. Однако во всех перечисленных экспериментах отсутствовало контрольное условие пассивного просмотра, которое позволило бы сделать выводы о влиянии на активацию миндалевидного тела самого факта выполнения когнитивной задачи, а не эффектов направленности внимания при ее выполнении.

В данной работе мы поставили своей целью восполнить этот пробел и экспериментально сравнили с помощью фМРТ активацию миндалевидного тела в условиях, когда испытуемые выполняют мнемическую задачу в отношении эмоционально окрашенных изображений, и в ситуации пассивного просмотра тех же изображений. Мы выбрали мнемическую задачу, так как она, с одной стороны, не адресована напрямую к эмоциональному содержанию изображений, но, с другой стороны, не способствует отвлечению от него внимания человека.

Таким образом, с одной стороны, мы можем ожидать усиления активации в миндалевидном теле при выполнении мнемической задачи по сравнению с условиями пассивного просмотра эмоционально окрашенных изображений, так как выполнение мнемической задачи связано с дополнительным привлечением внимания к запоминаемому эмоциональному материалу. С другой стороны, возможно ослабление активации под воздействием механизма когнитивной модуляции, аналогично случаю, когда человек выполняет когнитивную задачу, непосредственно связанную с эмоциональным содержанием материала (называние эмоции, субъективная оценка или переоценка).

Поскольку смена установки на запоминание и на пассивный просмотр может быть проблематична в ситуации внутригруппового эксперимента, мы исполь-

зовали межгрупповой план. Одна группа испытуемых выполняла мнемическую задачу, а другая — пассивно просматривала тот же самый материал.

В качестве материала для исследования были взяты фотоизображения из «Международной системы эмоционально окрашенных фотоизображений» (International Affective Picture System, IAPS), разработанной М. Брэдли и П. Лангом (Bradley, Lang, 2007; Lang, et al., 2008). В предшествующих исследованиях когнитивной регуляции эмоций чаще всего использовались два типа материала — фотографии эмоциональных лиц (преимущественно при изучении эффектов отвлечения внимания) и изображения IAPS (преимущественно при выполнении задач, касающихся эмоциональной окраски материала). Однако, как заметил в своем обзоре А. Эман (Öhman, 2002), практически все результаты, свидетельствующие в пользу автоматического характера реакций миндалины, были получены на материале лиц. Это заставляет предположить, что лицо как таковое может быть специфическим стимулом, вызывающим реакцию миндалевидного тела независимо от того, какую оно выражает эмоцию и вызывает ли оно аналогичную эмоцию у испытуемого. Таким образом, активацию миндалевидного тела, вызванную предъявлением эмоциональных лиц, нельзя рассматривать в качестве нейрофизиологического индикатора эмоциональной реакции. В то же время при стандартизации базы IAPS испытуемые прямо оценивали переживания, которые у них вызывали фотографии, по шкалам «Сила возбуждения», «Валентность» и «Доминантность». В связи с этим при выборе стимульного материала для данного исследования мы также остановили выбор не на изображениях экспрессивных лиц, а на эмоционально окрашенных (позитивных и негативных) зрительных сценах, которые с большей вероятностью запускают у испытуемых не только процессы категоризации эмоциональных стимулов, но и собственно эмоциональные реакции.

Мы также рассмотрели изменение BOLD-сигнала в правом и левом миндалевидном теле по отдельности, поскольку во многих предшествующих исследованиях влияния задачи на активацию в миндалевидном теле наблюдалась латерализация эффекта (Gorno-Tempini et al., 2001; Liberzon et al., 2000; Beauregard et al., 2001; Ochsner et al., 2002; Pessoa et al., 2002; Pessoa et al., 2005; Diers et al., 2014), то есть эффект задачи наблюдался только в правой или только в левой миндалине.

Помимо основной зоны интереса (миндалевидное тело слева и справа) были использованы также контрольные зоны интереса, позволяющие сопоставить полученные данные в целом с данными литературы, а также проконтролировать возможные глобальные вариации BOLD-сигнала в мозге в процессе выполнения задачи или в связи с эмоциональной активацией. В качестве контрольных зон интереса были выбраны зоны в зрительной коре, где ранее были описаны эффекты эмоционального возбуждения (усиление активации, вызванной эмоциональными изображениями IAPS по сравнению с нейтральными; напр., Simpson et al., 2000; Taylor, 2000; Hoffmann et al., 2012) и возможные эффекты внимания, связанные с выполнением мне-

мической задачи относительно зрительных стимулов; а также в слуховой коре, поскольку мы предположили, что эффекты просмотра и запоминания эмоциональных зрительных стимулов в слуховой коре являются маловероятными.

Таким образом, мы использовали экспериментальный план  $2 \times 3 \times 3 \times 2$  с одним межгрупповым фактором (наличие или отсутствие мнемической задачи) и тремя внутригрупповыми факторами: эмоциональная окраска стимульного изображения (3), зона интереса (3) и расположение зоны интереса слева или справа (2).

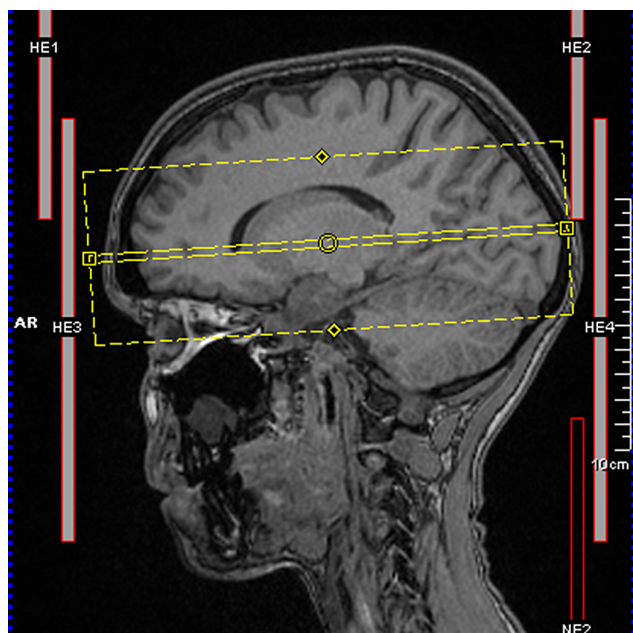
## Методика

### Испытуемые

В фМРТ-исследовании приняли участие 46 здоровых добровольцев в возрасте от 18 до 49 лет (средний возраст —  $26 \pm 5$  лет), 28 женщин и 18 мужчин с нормальным или скорректированным до нормального зрением. Все испытуемые были случайным образом разделены на две группы — экспериментальную (выполнявшие мнемическую задачу) и контрольную (выполнявшие пассивный просмотр изображений). Из анализа были исключены данные двоих добровольцев по причине сильных артефактов движения во время сканирования. Таким образом, в анализ были включены данные 44 добровольцев, по 22 человека из экспериментальной и контрольной групп: 15 женщин и 7 мужчин в группе с мнемической задачей, 11 женщин и 11 мужчин в группе без мнемической задачи (средний возраст — 26 лет в обеих группах). Все испытуемые принадлежали к российской культуре. Все они были праворукими, за исключением троих амбидекстров. Профиль латеральной организации определялся с помощью модифицированного опросника Аннет (Вассерман и др., 1997). Перед началом исследования испытуемые были проинформированы о противопоказаниях к процедуре МРТ и дали письменное информированное согласие на проведение исследования. При опросе на предмет психических или неврологических заболеваний никто из испытуемых не сообщил о наличии таковых.

### Оборудование и параметры сканирования

Сканирование проводилось на томографе Siemens Avanto 1.5T (Лечебно-реабилитационный центр Минздрава РФ, Москва). По 327 T2\*-взвешенных функциональных изображения было получено для каждого испытуемого с помощью ЭП-последовательности (EPI) с параметрами TR 2000 мс, TE 50 мс, FA 83°. Регистрировались 23 среза, включавших  $64 \times 64$  изотропических воксела размером  $3 \times 3 \times 3$  мм и ориентированных параллельно плоскости, проходящей через переднюю и заднюю комиссуры головного мозга (АС/РС). Область покрытия включала в себя вентральную префронтальную кору и нижнюю часть дорсальной префронтальной коры, височные доли, затылочные доли, а также переднюю и заднюю поясную кору (см. рисунок 1). Функциональные изображения были дополнены картами неоднородности магнитного поля, полу-



**Рисунок 1.** Пример ориентации срезов для функциональных объемов

ченными с помощью стандартной последовательности gre\_filed\_mapping (TR/TE1/TE2/FA — 460 мс/4.76 мс/9.52 мс/60°), а также T1-взвешенными вспомогатель-

ными анатомическими изображениями с размером вокселя  $1 \times 1 \times 1$  мм, полученными при помощи последовательности MPR (TR/TE/FA — 1900 мс/2.9 мс/15°).

## Материал

В качестве стимульного материала для исследования были отобраны 54 фотоизображения из «Международной системы эмоционально окрашенных фотоизображений» (International Affective Picture System, IAPS; Bradley, Lang, 2007), относящиеся к трем категориям (эротика, увечья и нейтральные сцены; см. рисунок 2), по 18 фотоизображений в каждой. Изображения эротических сцен и увечий относились к эмоционально окрашенной информации (высокие показатели по шкале «Сила возбуждения»). Эротические изображения имели позитивную эмоциональную окраску (высокие значения по шкале «Валентность»), а изображения увечий — негативную окраску (низкие значения по шкале «Валентность»). Нейтральные сцены имели низкие показатели по шкале «Сила возбуждения» и средние показатели по шкале «Валентность». Номера фотоизображений в рамках базы IAPS, а также средние величины для выборки изображений по шкалам «Сила возбуждения» и «Валентность», согласно данным стандартизации IAPS (Lang et al., 2008), приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Характеристики изображений из базы IAPS, использованных в качестве стимульного материала, по данным американской (Lang et al., 2008) и российской (О.П. Марченко, неопубликованные данные) выборки стандартизации

| Категория   | Нейтральные сцены  | Эротика  | Увечья   |
|---|--|--|--|
| Все стимульные изображения                                  |  |  |  |
| № изображения   | 5731, 5740, 7003, 7004, 7009, 7010, 7041, 7090, 7100, 7150, 7161, 7185, 7217, 7233, 7234, 7235, 7705, 7950 | 4611, 4641, 4651, 4652, 4653, 4658, 4659, 4664, 4666, 4670, 4676, 4677, 4680, 4681, 4687, 4690, 4693, 4694 | 3000, 3030, 3051, 3059, 3060, 3062, 3063, 3068, 3069, 3071, 3100, 3101, 3102, 3120, 3130, 3131, 3266, 3400 |
| Сила возбуждения (Lang et al., 2008)                        | $M = 2.61$ ( $SD = 0.36$ )   | $M = 6.05$ ( $SD = 0.35$ )   | $M = 6.19$ ( $SD = 0.54$ )   |
| Валентность (Lang et al., 2008)                             | $M = 4.94$ ( $SD = 0.26$ )   | $M = 6.14$ ( $SD = 0.65$ )   | $M = 2.08$ ( $SD = 0.32$ )   |
| Изображения, прошедшие стандартизацию на российской выборке |  |  |  |
| № изображения   | 5731, 5740, 7003, 7004, 7009, 7010, 7233, 7234, 7235, 7950   | 4611, 4651, 4652, 4653, 4659, 4664, 4680, 4690   | 3000, 3030, 3051, 3060, 3062, 3069, 3071, 3100, 3102, 3120, 3130, 3131, 3400                               |
| Сила возбуждения (Lang et al., 2008)                        | $M = 2.60$ ( $SD = 0.45$ )   | $M = 5.33$ ( $SD = 0.21$ )   | $M = 6.46$ ( $SD = 0.62$ )   |
| Валентность (Lang et al., 2008)                             | $M = 4.97$ ( $SD = 0.3$ )  | $M = 6.70$ ( $SD = 0.24$ )   | $M = 2.03$ ( $SD = 0.28$ )   |
| Сила возбуждения (по данным О.П. Марченко)                  | $M = 3.15$ ( $SD = 0.84$ )   | $M = 5.92$ ( $SD = 0.28$ )   | $M = 6.31$ ( $SD = 0.5$ )  |
| Валентность (по данным О.П. Марченко)                       | $M = 5.49$ ( $SD = 0.45$ )   | $M = 5.84$ ( $SD = 0.77$ )   | $M = 2.03$ ( $SD = 0.33$ )   |

Как видно из таблицы, изображения были отобраны таким образом, чтобы уравнивать показатели по шкале «Сила возбуждения» для категорий «Эротика» и «Увечья». Кроме того, поскольку в исследовании участвовали испытуемые обоего пола, из категории «Эротика» отбирались только те фотографии, на которых были изображены гетеросексуальные пары, а не обнаженные женщины или мужчины по отдельности.

### Процедура исследования

Каждый испытуемый проходил по одному подходу функционального сканирования продолжительностью около 11 минут. Во время сканирования стимульные изображения предъявлялись испытуемым через систему зеркал на экране с угловым размером  $12 \times 10^\circ$ . Каждый испытуемый просматривал все изображения. Время предъявления одного изображения составляло 6 с. Исследование проводилось по плану, связанному с событиями (event-related design). Категории предъявляемых изображений чередовались случайным образом и были разделены межстимульными интервалами, во время которых предъявлялся фиксационный крест («нулевое» событие). Продолжительность межстимульных интервалов варьировалась от 0.5 до 19 с. Все это создавало определенный эффект неожиданности для испытуемых, так как они заранее не знали, в какой момент времени появится следующее фотоизображение и будет ли оно эмоционально окрашенным. Последовательность предъявления изображений и межстимульные интервалы были оптимизированы для наилучшего выявления динамики BOLD-сигнала с помощью специализированной программы optseq2 (<https://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/optseq/>). Начало предъявления стимула могло быть как синхронизировано с началом регистрации функционального изображения (TR), так и сдвинуто относительно него во времени на 0.5, 1 или 1.5 с для повышения дискретизации сигнала.

Задача каждого испытуемого из контрольной группы состояла в том, чтобы смотреть на появляющиеся фотоизображения (пассивный просмотр). Перед началом исследования испытуемых предупреждали, что необходимо просто внимательно просмотреть все изображения в то время, как экспериментатор будет регистрировать активность мозга. Все испытуемые из экспериментальной группы выполняли мнемическую задачу: перед началом исследования их предупреждали о том, что по окончании просмотра экспери-

ментатор проверит, как они запомнили изображения. Тест на узнавание проводился непосредственно по окончании основного задания, когда испытуемый все еще находился внутри томографа (сканирование в это время не проводилось). Тест включал 12 фотоизображений трех категорий IAPS (увечья, эротика и нейтральные сцены). Половина этих изображений предъявлялась ранее во время сканирования, а вторую половину составляли новые для испытуемого изображения, предъявлявшиеся впервые. Ответы испытуемых фиксировались.

### Анализ данных

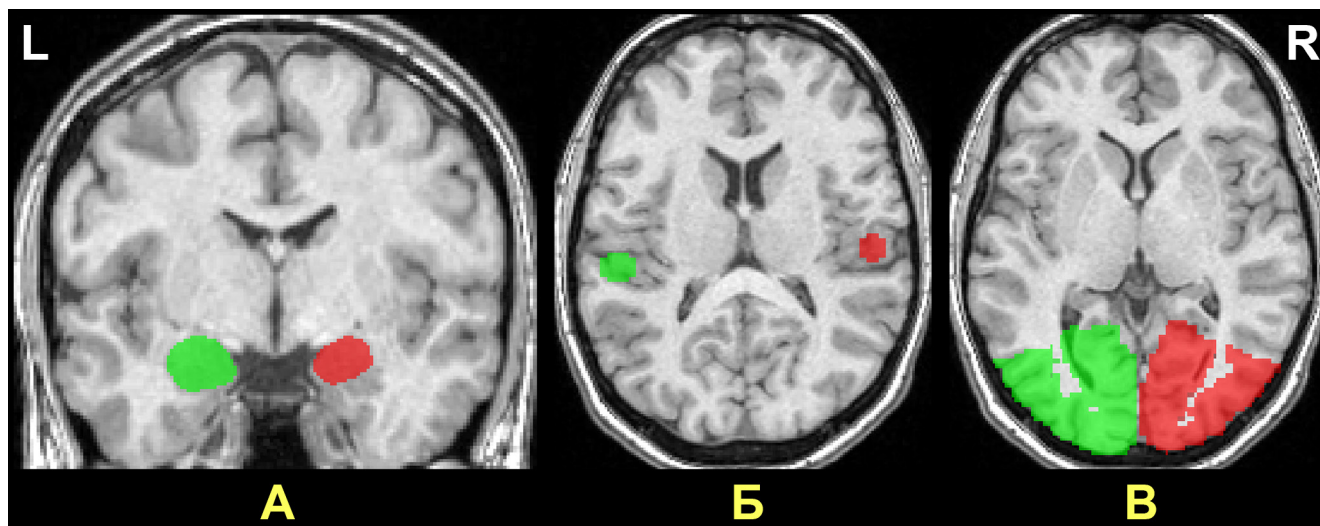
Контроль качества функциональных данных осуществлялся с помощью специализированного пакета ArtRepair v. 4.1 (Mazaika et al., 2009). Обработка данных проводилась с применением пакета SPM8 (Wellcome Institute of Cognitive Neurology, [www.fil.ion.ucl.ac.uk](http://www.fil.ion.ucl.ac.uk)). Подготовка функциональных данных включала следующие процедуры: поправка на неодновременность регистрации отдельных срезов (slice timing correction), коррекция движений головы и метрических искажений с использованием карт неоднородности магнитного поля (realign and unwarp), совмещение функциональных изображений с индивидуальными анатомическими изображениями головного мозга (coregistration), сегментация индивидуальных анатомических изображений на объемы серого вещества, белого вещества и спинномозговой жидкости (segmentation), перевод функциональных и анатомических изображений в стандартное пространство MNI (spatial normalization).

Основным методом статистического анализа был выбран анализ по анатомическим зонам интереса (ROI). Поскольку анализ по зонам интереса проводился с использованием данных всех испытуемых, с каждым из которых была проведена только одна сессия, он не дополнялся повоксельным статистическим анализом по всему объему мозга, так как для такого анализа не был доступен отдельный независимый набор данных (см. подробнее Vul, Kanwisher, 2010).

Были выделены две основные зоны интереса (миндалевидное тело слева и справа) и две пары контрольных зон интереса, в слуховой и зрительной коре каждого полушария (рисунок 3). Выделение структурных зон интереса проводилось с опорой на нормализованные (приведенные к пространству MNI) индивиду-



**Рисунок 2.** Примеры стимулов, аналогичные использованным в эксперименте (правила использования базы IAPS не предполагают публикацию изображений из базы исследователями). А — нейтральные сцены, Б — отрицательные эмоциональные стимулы, категория «увечья», В — положительные эмоциональные стимулы, категория «эротика»



**Рисунок 3.** Пример индивидуальных анатомических зон интереса слева и справа. А — в области миндалевидного тела, Б — в области слуховой коры, В — в области зрительной коры

альные анатомические изображения с использованием программ ImageJ (Rasband, 1997 – 2015) с расширением Segmentation Editor (Schindelin et al., 2015), а также Mricron (Rorden et al., 2007) и Marsbar Toolbox (Brett et al., 2002) для SPM.

Границы миндалевидного тела обрисовывались вручную с опорой на протокол сегментации миндалевидного тела и гиппокампа Стэнфордской лаборатории нейровизуализации для психиатрии (Stanford Psychiatry Neuroimaging Laboratory, см. Drawing and Measuring Amygdala and Hippocampus, v.4). Таким образом, была минимизирована возможность попадания в зону интереса вокселей, относящихся к структурам, прилегающим к миндалевидному телу (в первую очередь полюсу височной доли и гиппокампу).

Для выделения зон интереса в области слуховой коры на индивидуальных анатомических изображениях каждого испытуемого в левом и правом полушариях выбиралась точка в глубине Сильвиевой борозды, в скоплении серого вещества между извилиной Гешля и височной площадкой (planum temporale). Вокруг этой точки с помощью Marsbar Toolbox строилась сфера с объемом, соответствовавшим объему миндалевидного тела у данного испытуемого в соответствующем полушарии (с округлением радиуса с точностью до 1 мм).

Выделение зон интереса в миндалевидном теле и слуховой коре проводилось одним из трех экспертов (авторы данной статьи Л.Л., Р.В. и Е.П.), между которыми изображения испытуемых были распределены поровну случайным образом. Изображения не маркировались по принадлежности к экспериментальной или контрольной группе, чтобы исключить возможные влияния установок экспертов на результаты.

Зоны интереса в области зрительной коры задавались следующим образом: с помощью приложения WFU Pickatlas (Maldjian et al., 2003) были созданы маски для правой и левой затылочных долей. Для каждого испытуемого эти универсальные маски пересекались с пространственно нормализованной индивидуальной маской серого вещества, полученной после процедуры сегментации анатомических T1-взвешенных изображений. Столь широкая зона инте-

реса была выбрана с целью снизить разброс значений прироста BOLD-сигнала, поскольку достоверное выделение областей зрительной коры, соответствующих парафовеальной части поля зрения испытуемых, на основе чисто анатомических ориентиров не представлялось возможным.

Зоны интереса в области вентролатеральной префронтальной коры (VLPFC) для дополнительного анализа функциональных связей миндалевидного тела были также заданы с помощью WFU Pickatlas. Они были едины для всех испытуемых и включали маски полей BA44, BA45 и BA47 по Бродману отдельно в каждом полушарии.

Прирост BOLD-сигнала в рамках зон интереса в ответ на предъявление каждой из трех категорий изображений IAPS вычислялся с помощью Marsbar Toolbox для SPM. С этой целью для каждого испытуемого с помощью общей линейной модели определялись эффекты трех видов событий (положительно, отрицательно окрашенных и эмоционально нейтральных изображений) внутри каждой зоны интереса. Процент прироста BOLD-сигнала определялся относительно фонового уровня (среднего значения) интенсивности вокселей внутри зоны интереса по всем функциональным изображениям. Полученные значения прироста BOLD-сигнала сравнивались с помощью дисперсионного анализа с повторными измерениями и ковариатами (rmANCOVA), включавшего три внутригрупповых фактора: *область интереса* (миндалевидное тело, слуховая кора, зрительная кора)  $\times$  *полушарие головного мозга* (левое или правое)  $\times$  *категория стимульных изображений* (эротика, увечья, нейтральные), а также один межгрупповой фактор *задача* (наличие или отсутствие мнемической задачи) и две ковариаты: *пол* испытуемых и *среднее значение объема миндалевидных тел* испытуемых. Центрированные ковариаты были включены в анализ с целью контроля дополнительных переменных, не полностью проконтролированных при случайном распределении испытуемых в экспериментальную и контрольную группу. Две группы оказались не полностью уравнены по признаку пола и объему миндалевидного тела. Так как нейроанатомические и половые различия являются исходными и не могут

быть вызваны экспериментальной манипуляцией, то метод ANCOVA является корректной формой для их контроля (Miller, Chapman, 2001). Данные литературы свидетельствуют о существовании гендерной специфики активации миндалевидного тела (Hamann et al, 2005; Wager et al, 2003), однако данных о связи между объемом миндалевидного тела и особенностями его активации нам обнаружить не удалось. Дисперсионный анализ проводился с помощью статистического пакета SPSS 17.0. Дополнительный анализ функциональных связей миндалевидного тела и VLPFC проводился с помощью специализированного пакета CONN (Whitfield-Gabrieli, Nieto-Castanon, 2012). Сопоставление связей между группами и условиями, аналогичное многомерному дисперсионному анализу (MANOVA) и дисперсионному анализу с повторными измерениями и ковариатами (ANCOVA), было проведено с помощью общей линейной модели с расчетом контрастов, реализованной в рамках анализа данных второго уровня в CONN.

## Результаты

### Точность узнавания

В тесте на узнавание фотоизображений, который проводился с испытуемыми экспериментальной группы сразу по окончании функционального сканирования, из 22 испытуемых 5 совершили по одной ошибке, то есть дали по 91.7% правильных ответов. Остальные 17 человек дали 100% правильных ответов. Все ошибки, как пропуски, так и ложные тревоги, касались только эмоционально окрашенных изображений.

### Характеристики зон интереса

Центры масс миндалевидных тел, выделенных вручную на анатомических изображениях, располагались в пространстве MNI в следующих координатах (мм):

$-21 \pm 1$ ,  $-6 \pm 1$ ,  $-20 \pm 1$  (левое) и  $22 \pm 1$ ,  $-5 \pm 2$ ,  $-19 \pm 2$  (правое). Средний объем левого миндалевидного тела составил  $1482 \pm 327$  мм<sup>3</sup>, правого —  $1464 \pm 277$  мм<sup>3</sup> (объемы здесь и далее вычислялись в пространстве MNI). Объемы левого и правого миндалевидных тел испытуемых показали значительную корреляцию между собой:  $r = .515$ ,  $p < .001$ . Средний объем миндалевидных тел в двух полушариях и двух группах был сопоставлен с помощью дисперсионного анализа с повторными измерениями с одним внутригрупповым фактором (*полушарие*) и одним межгрупповым фактором (*группа*). Эффект фактора *полушарие* оказался статистически незначимым ( $F(1,42) = 0.162$ ,  $p = .690$ ,  $\eta^2_p = .004$ ), то есть выделенные области интереса слева и справа имели в среднем одинаковый объем. Взаимодействие факторов *полушарие*  $\times$  *группа* также оказалось незначимым ( $F(1,42) = 2.797$ ,  $p = .102$ ,  $\eta^2_p = .062$ ), однако был выявлен статистически значимый эффект фактора группа ( $F(1,42) = 7.176$ ,  $p = .011$ ,  $\eta^2_p = .146$ ): средний объем выделенной области интереса в миндалевидном теле в экспериментальной группе оказался больше, чем в контрольной. В связи с этим средний объем по двум (левой и правой) областям интереса в миндалевидном теле был добавлен в качестве ковариаты в основной дисперсионный анализ данных о приросте BOLD-сигнала в областях интереса.

Средний радиус зоны интереса в форме шара, выделенной в слуховой коре в соответствии с объемом миндалевидного тела у каждого испытуемого в соответствующем полушарии, составил 7 мм в левом полушарии и 6 мм в правом. Положение центра шара в пространстве MNI в среднем соответствовало координатам  $-53 \pm 1$ ,  $-24 \pm 3$  и  $13 \pm 2$  в левом полушарии,  $53 \pm 1$ ,  $-22 \pm 4$  и  $14 \pm 2$  в правом полушарии. Средний объем зон интереса в зрительной коре составил  $81418 \pm 1226$  мм<sup>3</sup> в левом полушарии и  $79795 \pm 1683$  мм<sup>3</sup> в правом полушарии. Дисперсионный анализ с повторными измерениями показал значимый эффект фактора *полушарие* ( $F(1,42) = 129.007$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2_p = .754$ )

**Таблица 2.** Средние значения и стандартные отклонения (в скобках) значений процента прироста BOLD-сигнала, вызванного просмотром трех типов изображений (позитивных, негативных и эмоционально нейтральных) в трех анатомических зонах интереса в экспериментальной и контрольной группах

|                          |             | Миндалевидное тело |            | Слуховая кора |             | Зрительная кора |            |
|--------------------------|-------------|--------------------|------------|---------------|-------------|-----------------|------------|
|                          |             | ЛП                 | ПП         | ЛП            | ПП          | ЛП              | ПП         |
| Экспериментальная группа | Эротика     | 0.13(0.13)         | 0.21(0.21) | -0.11(0.28)   | -0.12(0.32) | 0.43(0.21)      | 0.54(0.23) |
|                          | Увечья      | 0.24(0.13)         | 0.28(0.15) | -0.14(0.26)   | -0.20(0.28) | 0.42(0.19)      | 0.53(0.22) |
|                          | Нейтральные | 0.07(0.19)         | 0.08(0.20) | -0.08(0.29)   | -0.10(0.28) | 0.35(0.16)      | 0.43(0.16) |
| Контрольная группа       | Эротика     | 0.18(0.17)         | 0.14(0.14) | -0.21(0.28)   | -0.14(0.28) | 0.44(0.16)      | 0.53(0.19) |
|                          | Увечья      | 0.36(0.24)         | 0.27(0.15) | -0.34(0.24)   | -0.28(0.28) | 0.40(0.12)      | 0.52(0.15) |
|                          | Нейтральные | 0.09(0.19)         | 0.02(0.16) | 0.02(0.30)    | 0.08(0.30)  | 0.36(0.16)      | 0.41(0.16) |

и отсутствие значимого эффекта фактора *группа* ( $F(1,42) = .757, p = .389, \eta^2_p = .003$ ) или же их взаимодействия ( $F(1,42) = .116, p = .735, \eta^2_p = .018$ ).

### Анализ прироста BOLD-сигнала по зонам интереса

Процент прироста BOLD-сигнала был вычислен для каждой из зон интереса (миндалевидное тело, зрительная кора и слуховая кора слева и справа) и каждого

типа событий (предъявление эмоционально нейтрального, позитивно или негативно окрашенного изображения). Описательная статистика полученных значений (средние значения и стандартные отклонения) для экспериментальной и контрольной групп приведены в таблице 2.

Средние значения прироста BOLD-сигнала были сопоставлены с помощью дисперсионного анализа с повторными измерениями и межгрупповыми кова-

**Таблица 3.** Результаты дисперсионного анализа с повторными измерениями с внутригрупповыми факторами зона интереса, категория стимула и полушарие, межгрупповым фактором задача и ковариатами пол и средний объем миндалин

| Источник   | df     | F       | p    | $\eta^2_p$ |
|--|--------|---------|------|------------|
| Оценка эффектов внутригрупповых факторов                               |        |         |      |            |
| зона интереса  | 2      | 198.219 | .000 | .832       |
| зона интереса × пол  | 2      | 0.269   | .765 | .007       |
| зона интереса × средний объем миндалин                                 | 2      | 0.132   | .877 | .003       |
| зона интереса × задача   | 2      | 0.044   | .957 | .001       |
| ошибка (зона интереса)   | 80     |         |      |            |
| полушарие  | 1      | 8.449   | .006 | .174       |
| полушарие × пол  | 1      | 2.705   | .108 | .063       |
| полушарие × средний объем миндалин                                     | 1      | 0.023   | .879 | .001       |
| полушарие × задача   | 1      | 0.666   | .419 | .016       |
| ошибка (полушарие)   | 40     |         |      |            |
| категория стимула  | 2      | 0.990   | .376 | .024       |
| категория стимула × пол  | 2      | 0.975   | .382 | .024       |
| категория стимула × средний объем миндалин                             | 2      | 0.525   | .594 | .013       |
| категория стимула × задача   | 2      | 1.507   | .228 | .036       |
| ошибка (категория стимула)   | 80     |         |      |            |
| зона интереса × полушарие  | 2      | 6.612   | .002 | .142       |
| зона интереса × полушарие × пол  | 2      | 0.106   | .900 | .003       |
| зона интереса × полушарие × средний объем миндалин                     | 2      | 0.177   | .838 | .004       |
| зона интереса × полушарие × задача                                     | 2      | 5.632   | .005 | .123       |
| ошибка (зона интереса × полушарие)                                     | 80     |         |      |            |
| зона интереса × категория стимула                                      | 2.349* | 30.529  | .000 | .433       |
| зона интереса × категория стимула × пол                                | 4      | 0.825   | .511 | .020       |
| зона интереса × категория стимула × средний объем миндалин             | 4      | 0.204   | .936 | .005       |
| зона интереса × категория стимула × задача                             | 4      | 4.383   | .002 | .099       |
| ошибка (зона интереса × категория стимула)                             | 160    |         |      |            |
| полушарие × категория стимула  | 2      | 1.669   | .195 | .040       |
| полушарие × категория стимула × пол                                    | 2      | 0.555   | .576 | .014       |
| полушарие × категория стимула × средний объем миндалин                 | 2      | 1.140   | .325 | .028       |
| полушарие × категория стимула × задача                                 | 2      | 0.112   | .894 | .003       |
| ошибка (полушарие × категория стимула)                                 | 80     |         |      |            |
| зона интереса × полушарие × категория стимула                          | 3.108* | 0.933   | .430 | .023       |
| зона интереса × полушарие × категория стимула × пол                    | 4      | 0.441   | .779 | .011       |
| зона интереса × полушарие × категория стимула × средний объем миндалин | 4      | 1.355   | .252 | .033       |
| зона интереса × полушарие × категория стимула × задача                 | 4      | 0.343   | .849 | .009       |
| ошибка (зона интереса × полушарие × категория стимула)                 | 160    |         |      |            |
| Оценка эффектов межгрупповых факторов                                  |        |         |      |            |
| свободный член   | 1      | 92.615  | .000 | .698       |
| пол  | 1      | 0.054   | .817 | .001       |
| средний объем миндалин   | 1      | 0.004   | .949 | .000       |
| задача   | 1      | 0.062   | .805 | .002       |
| ошибка   | 40     |         |      |            |

\* С учетом поправки Гринхауса-Гейзера

**Таблица 4.** Результаты дисперсионного анализа по отдельным областям интереса с внутригрупповым фактором *полушарие*, межгрупповым фактором *задача* и ковариатами *пол* и *средний объем миндалин*

| А. Зона интереса — миндалевидное тело    |    |         |      |            |
|--|----|---------|------|------------|
| Источник                                 | df | F       | p    | $\eta^2_p$ |
| Оценка эффектов внутригрупповых факторов |    |         |      |            |
| полушарие                                | 1  | 0.375   | .544 | .009       |
| полушарие × пол                          | 1  | 1.497   | .228 | .036       |
| полушарие × средний объем миндалин       | 1  | 0.081   | .777 | .002       |
| полушарие × задача                       | 1  | 8.667   | .005 | .178       |
| ошибка (полушарие)                       | 40 |         |      |            |
| Оценка эффектов межгрупповых факторов    |    |         |      |            |
| свободный член                           | 1  | 113.757 | .000 | .740       |
| пол                                      | 1  | 0.244   | .624 | .006       |
| средний объем миндалин                   | 1  | 0.363   | .550 | .009       |
| задача                                   | 1  | 0.001   | .974 | .000       |
| ошибка                                   | 40 |         |      |            |
| Б. Зона интереса — слуховая кора         |    |         |      |            |
| Источник                                 | df | F       | p    | $\eta^2_p$ |
| Оценка эффектов внутригрупповых факторов |    |         |      |            |
| полушарие                                | 1  | 0.456   | .503 | .011       |
| полушарие × пол                          | 1  | 0.560   | .459 | .014       |
| полушарие × средний объем миндалин       | 1  | 0.000   | .983 | .000       |
| полушарие × задача                       | 1  | 2.317   | .136 | .055       |
| ошибка (полушарие)                       | 40 |         |      |            |
| Оценка эффектов межгрупповых факторов    |    |         |      |            |
| свободный член                           | 1  | 20.783  | .000 | .342       |
| пол                                      | 1  | 0.078   | .782 | .002       |
| средний объем миндалин                   | 1  | 0.011   | .917 | .000       |
| задача                                   | 1  | 0.075   | .786 | .002       |
| ошибка                                   | 40 |         |      |            |
| В. Зона интереса — зрительная кора       |    |         |      |            |
| Источник                                 | df | F       | p    | $\eta^2_p$ |
| Оценка эффектов внутригрупповых факторов |    |         |      |            |
| полушарие                                | 1  | 56.990  | .000 | .588       |
| полушарие × пол                          | 1  | 0.821   | .370 | .020       |
| полушарие × средний объем миндалин       | 1  | 0.875   | .355 | .021       |
| полушарие × задача                       | 1  | 0.535   | .469 | .013       |
| ошибка (полушарие)                       | 40 |         |      |            |
| Оценка эффектов межгрупповых факторов    |    |         |      |            |
| свободный член                           | 1  | 353.539 | .000 | .898       |
| пол                                      | 1  | 0.255   | .616 | .006       |
| средний объем миндалин                   | 1  | 0.021   | .887 | .001       |
| задача                                   | 1  | 0.044   | .835 | .001       |
| ошибка                                   | 40 |         |      |            |

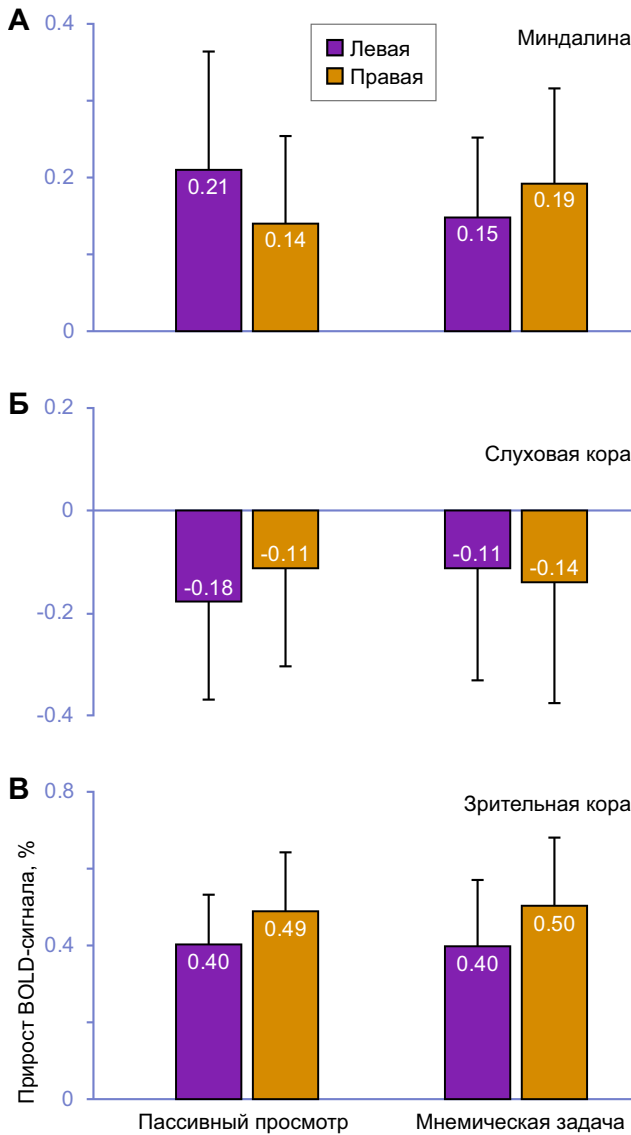
риатами (rmANCOVA), включавшего три внутригрупповых фактора: *зона интереса* (миндалевидное тело, слуховая кора, зрительная кора) × *полушарие* головного мозга (левое или правое) × *категория стимула* (эро-

**Таблица 5.** Результаты дисперсионного анализа по отдельным областям интереса с внутригрупповым фактором *категория стимула*, межгрупповым фактором *задача* и ковариатами *пол* и *средний объем миндалин*

| А. Зона интереса — миндалевидное тело      |        |         |      |            |
|--|--------|---------|------|------------|
| Источник                                   | df     | F       | p    | $\eta^2_p$ |
| Оценка эффектов внутригрупповых факторов   |        |         |      |            |
| категория стимула                          | 2      | 34.706  | .000 | .465       |
| категория стимула × пол                    | 2      | 0.602   | .550 | .015       |
| категория стимула × средний объем миндалин | 2      | 0.684   | .508 | .017       |
| категория стимула × задача                 | 2      | 1.196   | .308 | .029       |
| ошибка (категория стимула)                 | 80     |         |      |            |
| Оценка эффектов межгрупповых факторов      |        |         |      |            |
| свободный член                             | 1      | 113.757 | .000 | .740       |
| пол  | 1      | 0.244   | .624 | .006       |
| средний объем миндалин                     | 1      | 0.363   | .550 | .009       |
| задача                                     | 1      | 0.001   | .974 | .000       |
| ошибка                                     | 40     |         |      |            |
| Б. Зона интереса — слуховая кора           |        |         |      |            |
| Источник                                   | df     | F       | p    | $\eta^2_p$ |
| Оценка эффектов внутригрупповых факторов   |        |         |      |            |
| категория стимула                          | 1.565* | 11.112  | .000 | .217       |
| категория стимула × пол                    | 2      | 0.493   | .612 | .012       |
| категория стимула × средний объем миндалин | 2      | 0.232   | .794 | .006       |
| категория стимула × задача                 | 2      | 4.229   | .018 | .096       |
| ошибка (категория стимула)                 | 80     |         |      |            |
| Оценка эффектов межгрупповых факторов      |        |         |      |            |
| свободный член                             | 1      | 20.783  | .000 | .342       |
| пол  | 1      | 0.078   | .782 | .002       |
| средний объем миндалин                     | 1      | 0.011   | .917 | .000       |
| задача                                     | 1      | 0.075   | .786 | .002       |
| ошибка                                     | 40     |         |      |            |
| В. Зона интереса — зрительная кора         |        |         |      |            |
| Источник                                   | df     | F       | p    | $\eta^2_p$ |
| Оценка эффектов внутригрупповых факторов   |        |         |      |            |
| категория стимула                          | 2      | 13.664  | .000 | .255       |
| категория стимула × пол                    | 2      | 3.500   | .035 | .080       |
| категория стимула × средний объем миндалин | 2      | 0.409   | .666 | .010       |
| категория стимула × задача                 | 2      | 0.093   | .911 | .002       |
| ошибка (категория стимула)                 | 80     |         |      |            |
| Оценка эффектов межгрупповых факторов      |        |         |      |            |
| свободный член                             | 1      | 353.539 | .000 | .898       |
| пол  | 1      | 0.255   | .616 | .006       |
| средний объем миндалин                     | 1      | 0.021   | .887 | .001       |
| задача                                     | 1      | 0.044   | .835 | .001       |
| ошибка                                     | 40     |         |      |            |

\* С учетом поправки Гринхауса-Гейзера.

тика, увечья или нейтральные изображения) и один межгрупповой фактор *задача* (наличие или отсутствие мнемической задачи), а также *пол испытуемых* и *средний объем миндалин* в качестве ковариат.

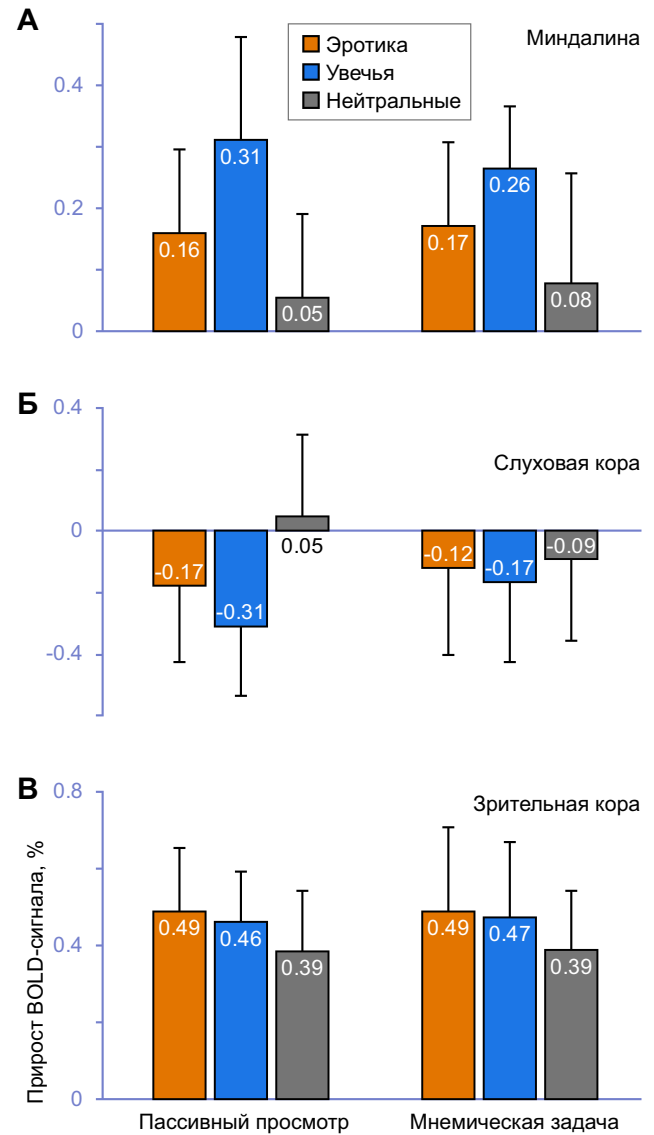


**Рисунок 4.** Средние значения и стандартные отклонения прироста BOLD-сигнала в зависимости от полушария и наличия или отсутствия мнемической задачи в трех зонах интереса. А — миндалевидное тело, Б — слуховая кора, В — зрительная кора

В основном и всех дополнительных анализах гипотеза о сферичности ковариационной матрицы проверялась с помощью критерия Мокли, гипотеза о равенстве ковариационных матриц независимых переменных для двух групп тестировалась с помощью критерия Бокса. При отклонении гипотезы о сферичности ковариационной матрицы применялась поправка Гринхауса-Гейзера на число степеней свободы.

Результаты дисперсионного анализа подробно представлены в таблице 3. Анализ показал отсутствие статистически значимого взаимодействия четвертого порядка (зона интереса  $\times$  полушарие  $\times$  категория стимула  $\times$  задача). В то же время были обнаружены значимые взаимодействия третьего порядка зона интереса  $\times$  категория стимула  $\times$  задача и зона интереса  $\times$  полушарие  $\times$  задача. Таким образом, паттерн результатов различался для миндалевидного тела и контрольных областей интереса.

Для интерпретации взаимодействий третьего порядка было проведено две серии дисперсионных анализов с повторными измерениями и ковариатами по

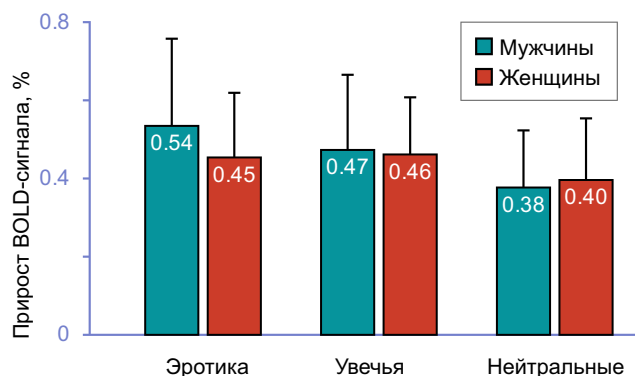


**Рисунок 5.** Средние значения и стандартные отклонения прироста BOLD-сигнала в зависимости от категории стимула и наличия или отсутствия мнемической задачи в трех зонах интереса. А — миндалевидное тело, Б — слуховая кора, В — зрительная кора

каждой области интереса в отдельности. В первой серии тестировался эффект межгруппового фактора задача и внутригруппового фактора полушарие с усреднением значений по фактору категория стимула. Во второй серии тестировался эффект межгруппового фактора задача и внутригруппового фактора категория стимула и усреднением значений по фактору полушарие. Пол испытуемых и средний объем миндалины включались в модель в качестве ковариат. Результаты представлены в таблицах 4, 5 и на рисунках 4, 5.

Полученные результаты демонстрируют статистически значимое взаимодействие факторов полушарие и задача в случае, если зоной интереса является миндалевидное тело. Главные эффекты факторов статистически не значимы. Прирост BOLD-сигнала при выполнении мнемической задачи оказывается выше в правом и ниже в левом миндалевидном теле ( $F(1, 19) = 4.717$ ,  $p = .043$ ,  $\eta^2_p = .199$ ), а при пассивном просмотре изображений — наоборот ( $F(1, 19) = 3.883$ ,  $p = .064$ ,  $\eta^2_p = .170$ ).

Для прироста BOLD-сигнала в зрительной коре обнаруживается главный эффект фактора полушарие,



**Рисунок 6.** Средние значения и стандартные отклонения прироста BOLD-сигнала в зрительной коре, вызванного предъявлением трех категорий изображений IAPS в зависимости от пола испытуемых

тогда как фактор задача и взаимодействие факторов не оказывают статистически значимого эффекта. Независимо от прочих условий, в правой зрительной коре регистрируется более высокий прирост BOLD-сигнала, чем в левой. Ни фактор задача, ни фактор полушарие не влияют на прирост BOLD-сигнала в слуховой коре. Их взаимодействие также статистически не значимо.

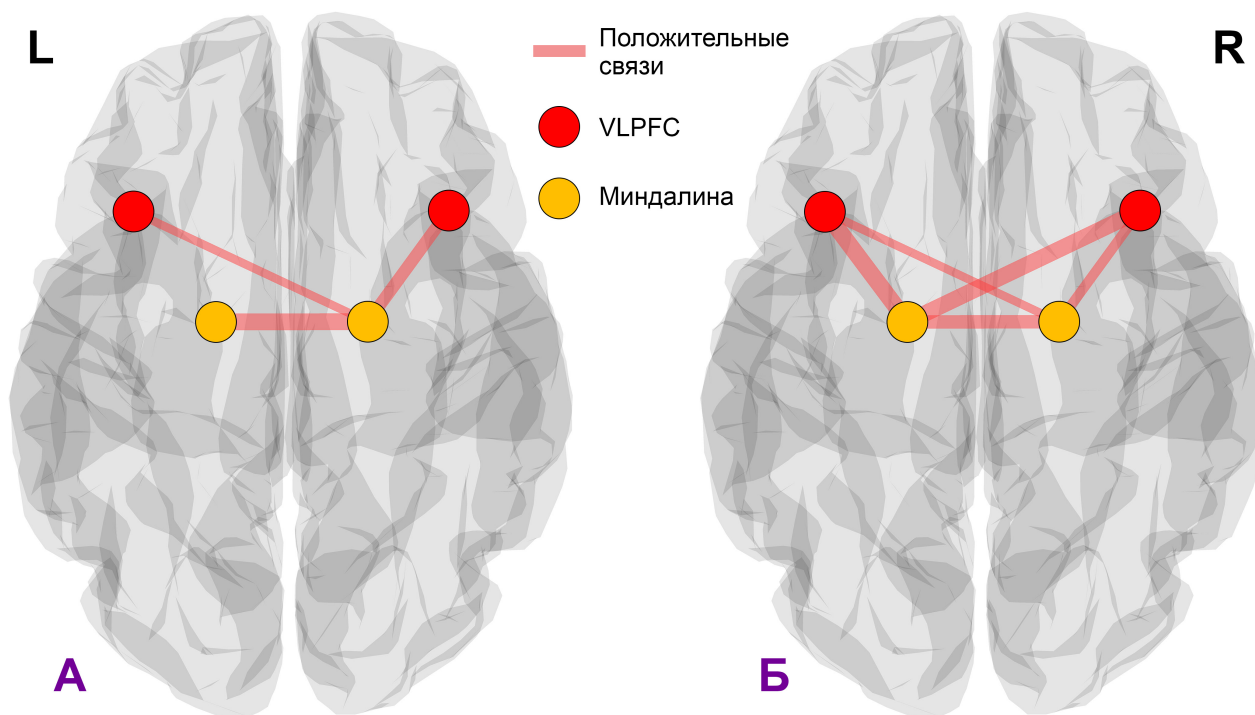
При усреднении значений прироста BOLD-сигнала по обоим полушариям в миндалевидном теле наблюдается главный эффект фактора категория стимула, но не фактора задача. Взаимодействие этих двух факторов также статистически не значимо. Парные сравнения показывают значимые различия между всеми парами уровней фактора категория стимула ( $p < .001$ , с поправкой Бонферрони). Изображения увечий вызывают больший прирост BOLD-сигнала по сравнению с нейтральными изображениями, нежели фотографии из категории эротика.

**Таблица 6.** Результаты однофакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями для значений прироста BOLD-сигнала в слуховой коре отдельно для экспериментальной и контрольной групп (внутригрупповой фактор категория стимула, ковариаты пол и средний объем миндалины)

| Источник                                    | df     | F      | p    | $\eta^2_p$ |
|---|--------|--------|------|------------|
| Экспериментальная группа                    |        |        |      |            |
| категория стимула                           | 2      | 0.804  | .455 | .041       |
| категория стимула × пол                     | 2      | 0.100  | .905 | .005       |
| категория стимула × средний объем миндалины | 2      | 0.082  | .921 | .004       |
| ошибка (категория стимула)                  | 38     |        |      |            |
| Контрольная группа                          |        |        |      |            |
| категория стимула                           | 1.339* | 11.776 | .001 | .383       |
| категория стимула × пол                     | 2      | 0.393  | .678 | .020       |
| категория стимула × средний объем миндалины | 2      | 0.356  | .703 | .018       |
| ошибка (категория стимула)                  | 38     |        |      |            |

\* С учетом поправки Гринхауса-Гейзера.

Сходная картина наблюдается в зрительной коре. Обнаружен статистически значимый главный эффект фактора категория стимула, но не фактора задача; отсутствует значимое взаимодействие факторов. Парные сравнения продемонстрировали статистически значимые различия между обеими категориями эмоционально окрашенных фотоизображений и нейтральными изображениями ( $p < .001$ , с поправкой Бонферрони), но не между эффектами изображений разной эмоциональной валентности (эротика и увечья). Также было обнаружено значимое взаимодействие фактора категория стимула с ковариатой пол испытуемых ( $p = .035$ ).



**Рисунок 7.** Диаграмма связей миндалевидного тела и вентральной префронтальной коры в случае пассивного просмотра негативно эмоционально окрашенных изображений (А) и выполнения в их отношении мнемической задачи (Б). Толщина линий отображает силу связи

Различие между реакцией зрительной коры на разные типы стимулов в группах мужчин и женщин проиллюстрировано на рисунке 6.

Для прироста BOLD-сигнала в области слуховой коры обнаружен статистически значимый главный эффект фактора категория стимула, а также взаимодействие факторов категория стимула  $\times$  задача, но не эффект фактора задача. Для интерпретации взаимодействия был проведен отдельный однофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями в экспериментальной и контрольной группах, где в качестве внутригруппового выступил фактор *категория стимула* (пол испытуемых и средний объем миндалины вводились в качестве ковариат). Его результаты представлены в таблице 6. Значимое влияние фактора *категория стимула* на прирост BOLD-сигнала в слуховой коре было обнаружено только в контрольной группе, не выполнявшей мнемическую задачу. Парные сравнения показали значимые различия между всеми парами категорий стимула в контрольной группе ( $p = .039$  для нейтральных и эротических фотоизображений;  $p = .001$  для нейтральных изображений и изображений увечий;  $p = .008$  для изображений эротики и увечий, с поправкой Бонферрони). Изображения увечий вызывали большее снижение BOLD-сигнала относительно эмоционально нейтральных изображений, чем эротические изображения.

### Дополнительный анализ функциональных связей миндалевидного тела и вентролатеральной префронтальной коры

Оценки связей прироста BOLD-сигнала в миндалевидном теле и VLPFC были сопоставлены с помощью дисперсионного анализа с повторными измерениями, включавшего два внутригрупповых фактора: *полушарие* головного мозга (левое или правое)  $\times$  *категория стимула* (эротика, увечья или нейтральные изображения) и один межгрупповой фактор *задача* (наличие или отсутствие мнемической задачи). Было проведено два отдельных анализа для связей миндалин с левой и правой VLPFC, и итоговый уровень статистической значимости результатов был скорректирован с учетом поправки FDR на множественные сравнения. Дисперсионный анализ показал статистически значимое взаимодействие третьего порядка как для левой ( $F(1, 21) = 6.71, p_{corr} = .034$ ), так и для правой ( $F(1, 21) = 4.62, p_{corr} = .043$ ) VLPFC. Для интерпретации полученного взаимодействия было проведено три отдельных дисперсионных анализа по каждому уровню фактора *категория стимула* (2 *полушария*  $\times$  2 *варианта задачи*). Значимое взаимодействие факторов *полушарие*  $\times$  *задача* было продемонстрировано только для активации, вызванной изображениями увечий:  $F(1, 42) = 6.37, p_{corr} = .026$  для левой VLPFC и  $F(1, 42) = 5.28, p_{corr} = .026$  для правой (рисунок 7).

## Обсуждение

Результаты целого ряда исследований указывают на то, что дополнительная когнитивная задача, отвлекающая внимание от эмоционального содержания стимулов,

приводит к снижению активации в миндалевидном теле. Этот эффект может быть обусловлен действием двух гипотетических механизмов. Первый из них предполагает перераспределение ресурсов внимания при повышении умственной нагрузки в ходе решения сложной когнитивной задачи по аналогии с перцептивной нагрузкой (Lavie, 1995): при высокой умственной нагрузке у человека не остается ресурсов для восприятия эмоционального содержания изображения или переживания эмоции. Хотя предполагается, что на уровне мозговых механизмов объектом регуляции в этом случае является активность миндалевидного тела, подробно с нейроанатомической и нейрофизиологической точки зрения этот гипотетический механизм не описан. Альтернативный механизм «когнитивной модуляции» предполагает, что структуры мозга, обеспечивающие эмоциональную оценку стимулов, в том числе миндалевидное тело, могут испытывать тормозящее воздействие со стороны структур, реализующих когнитивную задачу, в первую очередь префронтальной коры (McRae et al., 2010).

Интересно, что в случае если человеку необходимо выполнять какую-либо умственную работу, не отвлекающую внимание от эмоционального содержания стимулов, а наоборот, непосредственно с ним связанную (например, необходимо обозначить эмоцию словом или переоценить негативно воспринимаемую ситуацию), то у него, согласно данным литературы, также наблюдается снижение активации в миндалевидном теле, что свидетельствует скорее в пользу существования механизма «когнитивной модуляции» (McRae et al., 2010).

В данном исследовании мы попытались рассмотреть еще один случай, когда выполняемая при восприятии эмоционально окрашенных изображений задача привлекает внимание к стимулам, но не к их эмоциональному содержанию. В качестве такой задачи выступила мнемическая. С помощью фМРТ мы сравнили активацию миндалевидного тела в условиях, когда испытуемые выполняют мнемическую задачу в отношении эмоционально окрашенных и нейтральных изображений, и в ситуации пассивного просмотра тех же изображений. С одной стороны, мы прогнозировали увидеть усиление активации в миндалевидном теле при выполнении мнемической задачи по сравнению с условиями пассивного просмотра эмоционально окрашенных изображений, так как выполнение мнемической задачи связано с дополнительным привлечением внимания к запоминаемому эмоциональному материалу. С другой стороны, можно было ожидать ослабления активации под воздействием механизма когнитивной модуляции, аналогично случаю, когда человек выполняет когнитивную задачу, непосредственно связанную с эмоциональным содержанием материала (называние эмоции, субъективная оценка или переоценка).

Полученные результаты не соответствуют ни одному из начальных предсказаний: мнемическая задача приводит не к усилению или ослаблению активации в миндалевидном теле, вызванной эмоционально окрашенными изображениями, а к изменению латерализации этой активации. При выполнении мнемической

задачи активация в правой миндалине в ответ на эмоциональные стимулы была выше, чем в левой, а в отсутствие задачи — наоборот. При этом отсутствовало значимое взаимодействие *задача × полушарие × категория стимула*, то есть наблюдаемые изменения латерализации реакций миндалины не были специфичны только для ответов на эмоционально окрашенные изображения, а были характерны для той или иной инструкции как таковой.

В то же время в целом полученные нами результаты соответствуют данным литературы об активации миндалевидного комплекса в ответ на эмоционально окрашенные стимулы. По результатам многих исследований (см. данные и обзор Aldhafeeri et al., 2012), даже в том случае, когда стимулы уравниваются по силе вызываемого эмоционального возбуждения, активация в миндалевидном теле характерна только для восприятия негативно окрашенных эмоциональных изображений по сравнению с нейтральными. Однако также существуют данные о том, что положительно эмоционально окрашенные изображения с высокими значениями по шкале «Сила возбуждения», к которым относятся и эротические изображения, также вызывают значимый прирост BOLD-сигнала в миндалевидном теле (Sabatinelli et al, 2005, 2009). Согласно нашим результатам, в миндалевидном теле значимо возрастает активация при просмотре эмоционально окрашенных изображений по сравнению с нейтральными, при этом она оказывается значимо большей для негативно окрашенных стимулов (категория «увечья»), нежели положительно окрашенных (категория «эротика»), что соответствует обоим описанным в литературе тенденциям. Так как в нашем исследовании обе категории стимулов были уравнены по шкале «Сила возбуждения», полученные различия должны быть интерпретированы в связи с эмоциональной валентностью стимулов, а не силой возбуждения (arousal).

Мы также исключили объяснение полученного эффекта, связанное с возможной культурной специфичностью восприятия изображений IAPS российскими испытуемыми (Васанов и др., 2011). Хотя полная стандартизация базы IAPS для российской культуры пока не проведена, мы сопоставили данные американской стандартизации с данными, полученными на российской выборке (неопубликованные данные О.П. Марченко) по 31 из 54 изображений, использованных в качестве стимульного материала в нашем исследовании (Lang et al., 2008, см. таблицу 1). Были обнаружены значимые различия между оценками изображений по шкале «Валентность», полученными в американской и российской культурах ( $t(30) = 3.493$ ,  $p = .002$ ). Российские испытуемые оценивали нейтральные и положительно окрашенные изображения более положительно, чем американские. В то же время значимых различий между оценками изображений по шкале «Сила возбуждения» в двух культурах обнаружено не было ( $t(30) = 0.587$ ,  $p = .575$ ), что согласуется с выводом о том, что полученный нами паттерн активации миндалевидного тела обусловлен валентностью стимулов.

Повышенная активация зрительной коры в ответ на просмотр эмоциональных изображений по сравне-

нию с нейтральными тоже согласуется с накопленными в литературе данными (Sabatinelli et al., 2005, 2009; Britton et al., 2006). Известно, что миндалевидное тело обладает богатыми анатомическими связями со зрительной корой (Amaral et al, 2003). Также существуют многочисленные данные в пользу того, что миндалина оказывает модулирующее воздействие на зрительную кору при восприятии эмоционально окрашенных стимулов (Vuilleumier et al., 2004; Phelps, LeDoux, 2005). В частности, Л. Пессоа (Pessoa, 2008, Pessoa, Adolphs, 2010) предполагает, что миндалина является структурой, интегрированной в механизм внимания, и неверно было бы рассматривать взаимосвязи миндалевидного тела и зрительной коры как проявление взаимодействия «когнитивной» и «эмоциональной» систем мозга. Тем не менее возможно, что повышенная активация зрительной коры в ответ на эмоциональные стимулы объясняется действием какого-либо другого механизма, не связанного с миндалевидным телом, так как она сохраняется у пациентов после односторонней резекции миндалины (Edmiston et al., 2013).

Полученный нами устойчивый эффект латерализации активации в зрительной коре (в правой зрительной коре у большинства испытуемых прирост BOLD-сигнала в ответ на предъявление изображений был выше, чем в левой, независимо от задачи и типа стимула) был открыт совсем недавно и, по-видимому, представляет собой проявление устойчивой функциональной асимметрии зрительной системы, коррелирующей также с асимметрией объема серого вещества в первичной зрительной коре (Hougaard et al., 2015).

Нами также были получены гендерные различия: хотя активация миндалевидного тела у мужчин и женщин не различалась, в зрительной коре мужчины показали большую активацию при просмотре эротических изображений, чем женщины. Гендерные различия в зрительном восприятии эротических изображений многократно описаны с опорой на экспериментально-психологические и нейрофизиологические данные. Полученный нами результат согласуется, в частности, с результатами раннего исследования Д. Сабатинелли и коллег (Sabatinelli et al., 2004). Механизмы, лежащие в основе этих различий, не ясны. Одно из возможных объяснений может быть связано с тем, что мужчины и женщины по-разному распределяют внимание при просмотре эротических изображений (Rupp, Wallen, 2007).

Использование в анализе по зонам интереса контрольных зон в зрительной и слуховой коре позволяет утверждать, что эффекты, полученные в миндалевидном теле, не могут быть объяснены глобальными изменениями BOLD-сигнала, так как эти эффекты различны для миндалевидного тела и контрольных областей интереса. Хотя исходно предполагалось, что факторы задачи и эмоциональной окраски стимулов не оказывают никакого влияния на слуховую кору, и именно поэтому она была выбрана в качестве контрольной ROI, в слуховой коре также были обнаружены эффекты эмоциональной окраски стимулов и их взаимодействие с выполняемой задачей (однако не было обнаружено латерализации активации). При предъявлении эмоционально окрашенных изображений, которые вы-

зывают прирост BOLD-сигнала в миндалевидном теле и зрительной коре, а также для всех категорий стимулов при выполнении мнемической задачи наблюдались отрицательные средние значения прироста BOLD-сигнала в слуховой коре, то есть его снижение относительно фонового уровня. Мы предполагаем, что наблюдаемое снижение BOLD-сигнала может относиться к числу мозговых коррелятов перераспределения ресурсов внимания при повышении перцептивной или умственной загрузки, когда человек активно направляет внимание на зрительные стимулы, обладающие биологической значимостью, или в связи с требованиями стоящей перед ним когнитивной задачи. В этом случае обнаруженная нами закономерность может быть проявлением мозгового механизма недавно открытого явления «глухоты по невниманию», которое заключается в ухудшении восприятия слуховых стимулов при повышенной перцептивной нагрузке в зрительной модальности (MacDonald, Lavie, 2011). Данных о мозговых механизмах этого эффекта, полученных с помощью фМРТ, пока не существует, однако исследование с помощью МЭГ продемонстрировало, что возрастание степени зрительного внимания приводит к снижению ответов слуховой коры на не релевантные задаче звуковые стимулы (Molloy et al., 2015).

Таким образом, часть полученных нами данных может быть интерпретирована как результат перераспределения ресурсов внимания при повышении перцептивной и умственной загрузки при просмотре эмоциональных изображений вследствие их биологической значимости, а также в силу требования их запомнить. Однако объяснить за счет этого механизма полученный эффект латерализации активации в миндалевидном теле не представляется возможным. Альтернативные объяснения предполагают функциональную специализацию левой и правой миндалины, проявляющуюся в условиях выполнения задачи, или же вклад механизма «когнитивной модуляции» миндалевидного тела со стороны префронтальной коры.

Существующие данные о функциональной асимметрии миндалевидного тела свидетельствуют о том, что левое миндалевидное тело больше включено в обработку слуховой эмоциональной информации (интонаций речи; Fröhholz et al., 2015), а правое — зрительной эмоциональной информации (например, опознание эмоций по выражению лица; Golouboff et al., 2008; Meletti et al., 2003). Также, по мнению ряда авторов, правая миндалина участвует в быстром, автоматическом процессе обнаружения угрозы, в то время как левая обрабатывает эмоционально окрашенную информацию медленнее, с участием сознания (Glascher, Adolphs, 2003; Sergerie et al., 2008). Эта теория подкрепляется фактами, указывающими на асимметрию динамики активации в правом (более быстро) и левом миндалевидном теле (Wright et al., 2001; Sergerie et al., 2008; Kohn et al., 2015). Наконец, Макменаин и др. (McMenamin et al., 2013) выдвинули теорию, согласно которой функциональная асимметрия миндалевидного тела связана со способом восприятия зрительной эмоционально окрашенной информации: внимание, направленное на отдельные элементы зрительной сцены, больше активирует левую миндалину,

в то время как холистическое восприятие изображений активирует правую миндалину.

Ни одна из этих теорий не объясняет полученных нами результатов. По нашим данным, различия в реакции левой и правой миндалины в условиях с когнитивной задачей и без нее не менялись значимо в зависимости от того, были ли стимулы эмоциональными или нейтральными, что отбрасывает объяснение в терминах большего вовлечения правого миндалевидного тела в условиях выполнения мнемической задачи, требующей более глубокой обработки зрительно предъявляемого эмоционального материала. Остальные две теории предсказывают паттерн результатов, обратный тому, что был получен в нашем исследовании. Подход, апеллирующий к автоматическим или контролируемым процессам обработки информации, также предсказывает большую активацию правого миндалевидного тела в условиях пассивного просмотра, а не мнемической задачи. Наконец, холистический способ восприятия, связанный с активацией правой миндалины, также представляется более характерным для условий пассивного просмотра.

Интересно, что данные исследования Дж. Таунсенд с коллегами (Townsend et al., 2013) также свидетельствуют о латерализации активации в миндалевидном теле при просмотре негативных и нейтральных изображений в условиях их пассивного восприятия, хотя этот эффект специально и не обсуждается в работе. В отличие от наших данных и в соответствии с предсказаниями существующих теорий функциональной асимметрии миндалины, Дж. Таунсенд и др. описывают правостороннюю латерализацию активации. Аналогичную правостороннюю асимметрию наблюдали также К. Диерс и коллеги (Diers et al., 2014), которые изучали влияние инструкции (свободный просмотр или активное переживание вызываемых картинкой эмоций) на активацию в миндалевидном теле. Нам представляется, что различия между нашими данными и результатами Таунсенд и Диерса могут в первую очередь объясняться различиями между условиями свободного просмотра без дополнительных инструкций (в нашем исследовании) и условиями чередования инструкций, когда испытуемому в короткие промежутки времени необходимо переключаться со свободного просмотра на активное переживание увиденного или контроль собственных эмоциональных реакций (в предыдущих исследованиях). Данное предположение требует экспериментальной проверки.

Теория «когнитивной модуляции» активации в миндалевидном теле со стороны префронтальной коры предполагает, что существенную роль в регуляции эмоциональных состояний играют связи между префронтальной корой и миндалевидным телом, в частности вентролатеральной префронтальной корой (Townsend et al., 2013; Kohn et al., 2015), которая, согласно более ранней нейрофизиологической модели порождения эмоций К. Окснера и коллег (Ochsner et al., 2009), входит в «восходящую» систему порождения эмоций. Для того, чтобы проследить возможный вклад вентролатеральной префронтальной коры (VLPFC) в обнаруженный нами сдвиг латерализации ответов миндалевидного тела под воздействием ког-

нитивной задачи, мы провели дополнительное сравнение функциональных связей правой и левой миндалины с правой и левой областями VLPFC (поля 44, 45 и 47, по Бродману) в экспериментальной и контрольной группе на основе корреляций BOLD-сигнала, вызванного стимулами каждой категории.

Наблюдаемое взаимодействие между факторами выполняемой задачи, категории стимула и полушария для связей миндалевидного тела с вентролатеральной префронтальной корой возникает за счет латерализации связей, полученной при выполнении мнемической задачи относительно изображений увечий. При выполнении мнемической задачи связи левой миндалины усиливаются по сравнению со связями правой миндалины как для левой, так и для правой VLPFC, в то время как прирост BOLD-сигнала падает в левой миндалине по сравнению с правой. Корреляционный характер проведенного анализа не позволяет однозначно предположить, что наблюдаемая связь демонстрирует работу механизма «когнитивной модуляции». Возможно, что уменьшение прироста BOLD-сигнала в миндалевидном теле при просмотре изображений увечий сопровождается усилением связей с VLPFC как за счет модулирующих нисходящих влияний префронтальной коры, так и за счет восходящих влияний на префронтальную кору в рамках «восходящей» системы порождения эмоций по модели К. Окснера и коллег (2009).

Таким образом, мы получили косвенные данные в пользу включения обоих механизмов — как перераспределения ресурсов внимания при повышении перцептивной и умственной загрузки, так и «когнитивной модуляции» — при выполнении мнемической задачи относительно эмоционально окрашенных и нейтральных изображений. Чтобы выяснить, каким образом эти гипотетические механизмы могут определять конкретное состояние функциональной системы, обеспечивающей выполнение задачи, необходимы дальнейшие исследования, тестирующие каждую из обнаруженных нами закономерностей.

Результаты нашего исследования имеют также и дополнительное методическое значение. В фМРТ-экспериментах когнитивные задания часто используются как методический прием, гарантирующий поддержание внимания испытуемых к стимулам. Как показывают наши данные, при этом далеко не всегда будет верным предположение о том, что такие дополнительные когнитивные задания не влияют на исследуемый процесс, особенно если этот процесс связан с эмоциями.

## Ограничения

В данном исследовании не регистрировалась информация о взаимном расположении миндалевидного тела и базальной вены Розенталя, которая обеспечивает отток крови от образований среднего мозга и, согласно последним исследованиям (Boubela et al., 2015), может вносить вклад в прирост BOLD-сигнала, рассматриваемый исследователями как показатель активации миндалевидного тела по данным фМРТ.

## Выводы

При сравнении прироста BOLD-сигнала в миндалевидном теле в условиях пассивного просмотра изображений и выполнения относительно тех же изображений мнемической задачи был получен эффект латерализации. При пассивном просмотре изображений наблюдалась более выраженная активация в левом миндалевидном теле, а под влиянием мнемической задачи латерализация сменялась на правостороннюю. Также были обнаружены изменения корреляции между BOLD-сигналом в миндалевидном теле и в вентролатеральной префронтальной коре (VLPFC) в зависимости от задачи и эмоциональной валентности стимулов, в частности выявлено усиление связи между левой миндалиной и левой VLPFC при запоминании изображений увечий. Данный факт указывает на то, что возможный механизм наблюдаемого эффекта когнитивной задачи может заключаться в трансформации функциональных связей миндалевидного тела с префронтальной корой. Описание наблюдаемых изменений с точки зрения гипотетической перестройки функциональной системы в зависимости от текущей задачи требует дальнейшего исследования с применением методов анализа связей в головном мозге (connectivity). Также требуют дальнейшего изучения механизмы, стоящие за эффектами «глухоты по невниманию» и функциональной асимметрии в зрительной коре, которые были обнаружены при анализе данных по контрольным зонам интереса в нашем исследовании.

## Литература

- Васанов А.Ю., Марченко О.П., Машанло А.С. Проверка стандартных показателей эмоционально окрашенных фотоизображений IAPS на русской выборке // Экспериментальная психология. 2011. Т. 4. № 3. С. 126 – 132.
- Вассерман Л.И., Дорофеева С.А., Меерсон Я.А. Методы нейropsychологической диагностики. СПб.: Правда, 1997.
- Aldhafeeri F.M., Mackenzie I., Kay T., Alghamdi J., Sluming V. Regional brain responses to pleasant and unpleasant IAPS pictures: different networks // Neuroscience Letters. 2012. Vol. 512. P. 94 – 98. doi:10.1016/j.neulet.2012.01.064
- Amaral D.G., Behnia H., Kelly J.L. Topographic organization of projections from the amygdala to the visual cortex in the macaque monkey // Neuroscience. 2003. Vol. 118. No.4. P. 1099 – 1120. doi:10.1016/s0306-4522(02)01001-1
- Anderson A.K. Feeling emotional: the amygdala links emotional perception and experience // Social Cognitive and Affective Neuroscience. 2007. Vol. 2. No.2. P. 71 – 72. doi:10.1093/scan/nsm022
- Anderson A.K., Christoff K., Panitz D., De Rosa E., Gabrieli J.D.E. Neural correlates of the automatic processing of threat facial signals // The Journal of Neuroscience. 2003. Vol. 23. No.13. P. 5627 – 5633. doi:10.1016/S0896-6273(03)00504-X
- Banks S.J., Eddy K.T., Angstadt M., Nathan P.J., Phan K.L. Amygdala-frontal connectivity during emotion regulation // Social Cognitive and Affective Neuroscience. 2007. Vol. 2. No.4. P. 303 – 312. doi:10.1093/scan/nsm029
- Beauregard M., Levesque J., Bourgouin P. Neural correlates of conscious self-regulation of emotion // The Journal of Neuroscience. 2001. Vol. 21. No.18. P. 6993 – 7000.

- Bermppohl F., Pascual-Leone A., Amedi A., Merabet L.B., Fregni F., Gaab N., Alsop D., Schlaug G., Northoff G. Attentional modulation of emotional stimulus processing: an fMRI study using emotional expectancy // *Human Brain Mapping*. 2006. Vol. 27. No.8. P. 662–677. doi:10.1002/hbm.20209
- Blair K.S., Smith B.W., Mitchell D.G.V., Morton J., Vythilingam M., Pessoa L., Fridberg D., Zametkin A., Nelson E.E., Drevets W.C., Pine D.S., Martin A., Blair R.J.R. Modulation of emotion by cognition and cognition by emotion // *Neuroimage*. 2007. Vol. 35. No.1. P. 430–440. doi:10.1016/j.neuroimage.2006.11.048
- Bleich-Cohen M., Mintz M., Pianka P., Andelman F., Rotshtein P., Hendler T. Differential stimuli and task effects in the amygdala and sensory areas // *Neuroreport*. 2006. Vol. 17. No.13. P. 1391–1395. doi:10.1097/01.wnr.0000215772.68979.f4
- Boubela R.N., Kalcher K., Huf W., Seidel E.-M., Derntl B., Pezawas L., Naefel C., Moser E. fMRI measurements of amygdala activation are confounded by stimulus correlated signal fluctuation in nearby veins draining distant brain regions // *Scientific Reports*. 2015. Vol. 5. P. 10499:1–15. doi:10.1038/srep10499
- Bradley M.M., Lang P. The International Affective Picture System (IAPS) in the study of emotion and attention // *Handbook of emotion elicitation and assessment* / J.A. Coan, J.J.B. Allen (Eds.). New-York, NY, USA: Oxford University Press, 2007. P. 29–46.
- Brett M., Anton J.-L., Valabregue R., Poline J.-B. Region of interest analysis using the MarsBar toolbox for SPM 99 // *Neuroimage*. 2002. Vol. 16. No.2. P. S497.
- Britton J.C., Taylor S.F., Sudheimer K.D., Liberzon I. Facial expressions and complex IAPS pictures: common and differential networks // *NeuroImage*. 2006. Vol. 31. No.2. P. 906–919. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.12.050
- Canli T., Zhao Z., Brewer J., Gabrieli J.D., Cahill L. Event-related activation in the human amygdala associates with later memory for individual emotional experience // *Journal of Neuroscience*. 2000. Vol. 20. No.19. P. RC99:1–5.
- Compton R.J., Banich M.T., Mohanty A., Milham M.P., Herrington J., Miller G.A., Scaif P.E., Webb A., Heller W. Paying attention to emotion // *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*. 2003. Vol. 3. No.2. P. 81–96. doi:10.3758/CABN.3.2.81
- Critchley H., Daly E., Phillips M., Brammer M., Bullmore E., Williams S., Van Amelsvoort T., Robertson D., David A., Murphy D. Explicit and implicit neural mechanisms for processing of social information from facial expressions: a functional magnetic resonance imaging study // *Human Brain Mapping*. 2000. Vol. 9. No.2. P. 93–105.
- Desbordes G., Negi L.T., Pace T.W., Wallace B.A., Raison C.L., Schwartz E.L. Effects of mindful-attention and compassion meditation training on amygdala response to emotional stimuli in an ordinary, non-meditative state // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2012. Vol. 6. P. 292:1–15. doi:10.3389/fnhum.2012.00292
- Diers K., Weber F., Brocke B., Strobel A., Schönfeld S. Instructions matter: a comparison of baseline conditions for cognitive emotion regulation paradigms // *Frontiers in Psychology*. 2014. Vol. 5. P. 347:1–11. doi:10.3389/fpsyg.2014.00347
- Edmiston E.K., McHugo M., Dukic M.S., Smith S.D., Abou-Khalil B., Eggers E., Zald D.H. Enhanced visual cortical activation for emotional stimuli is preserved in patients with unilateral amygdala resection // *The Journal of Neuroscience*. 2013. Vol. 33. No.27. P. 11023–11031. doi:10.1523/JNEUROSCI.0401-13.2013
- Frühholz S., Hofstetter C., Cristinzio C., Saj A., Seck M., Vuilleumier P., Grandjean D. Asymmetrical effects of unilateral right or left amygdala damage on auditory cortical processing of vocal emotions // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015. Vol. 112. No.5. P. 1583–1588. doi:10.1073/pnas.1411315112
- Gläscher J., Adolphs R. Processing of the arousal of subliminal and supraliminal emotional stimuli by the human amygdala // *The Journal of Neuroscience*. 2003. Vol. 23. No.32. P. 10274–10282.
- Goluboff N., Fiori N., Delalande O., Fohlen M., Dellatolas G., Jambaqué I. Impaired facial expression recognition in children with temporal lobe epilepsy: impact of early seizure onset on fear recognition // *Neuropsychologia*. 2008. Vol. 46. No.5. P. 1415–1428. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2007.12.019
- Gorno-Tempini M.L., Pradelli S., Serafini M., Pagnoni G., Baraldi P., Porro C., Nicoletti R., Umita C., Nichelli P. Explicit and incidental facial expression processing: an fMRI study // *Neuroimage*. 2001. Vol. 14. No.2. P. 465–473. doi:10.1006/nimg.2001.0811
- Hamann S. Sex differences in the responses of the human amygdala // *The Neuroscientist*. 2005. Vol. 11. No.4. P. 288–293. doi:10.1177/1073858404271981
- Hariri A.R., Bookheimer S.Y., Mazziotta J.C. Modulating emotional responses: effects of a neocortical network on the limbic system // *Neuroreport*. 2000. Vol. 11. No.1. P. 43–48. doi:10.1097/00001756-200001170-00009
- Hariri A.R., Mattay V.S., Tessitore A., Fera F., Weinberger D.R. Neocortical modulation of the amygdala response to fearful stimuli // *Biological Psychiatry*. 2003. Vol. 53. No.6. P. 494–501. doi:10.1016/s0006-3223(02)01786-9
- Hoffmann M., Lipka J., Mothes-Lasch M., Miltner W.H., Straube T. Awareness modulates responses of the amygdala and the visual cortex to highly arousing visual threat // *NeuroImage*. 2012. Vol. 62. No.3. P. 1439–1444. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.05.064
- Hougaard A., Jensen B.H., Amin F.M., Rostrup E., Hoffmann M.B., Ashina M. Cerebral asymmetry of fMRI-BOLD responses to visual stimulation // *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10. No.5. P. e0126477. doi:10.1371/journal.pone.0126477
- Keightley M.L., Winocur G., Graham S.J., Mayberg H.S., Hevenor S.J., Grady C.L. An fMRI study investigating cognitive modulation of brain regions associated with emotional processing of visual stimuli // *Neuropsychologia*. 2003. Vol. 41. No.5. P. 585–596. doi:10.1016/s0028-3932(02)00199-9
- Kellermann T.S., Sternkopf M.A., Schneider F., Habel U., Turetsky B.I., Zilles K., Eickhoff S.B. Modulating the processing of emotional stimuli by cognitive demand // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2012. Vol. 7. No.3. P. 263–273. doi:10.1093/scan/nsq104
- Kohno S., Noriuchi M., Iguchi Y., Kikuchi Y., Hoshi Y. Emotional discrimination during viewing unpleasant pictures: timing in human anterior ventrolateral prefrontal cortex and amygdala // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2015. Vol. 9. P. 51:1–7. doi:10.3389/fnhum.2015.00051
- Lang P.J., Bradley M.M., Cuthbert B.N. International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical report A-8. Gainesville, FL: University of Florida, 2008.
- Lavie N. Perceptual load as a necessary condition for selective attention // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1995. Vol. 21. No.3. P. 451–468. doi:10.1037//0096-1523.21.3.451
- Liberzon I., Taylor S.F., Fig L.M., Decker L.R., Koeppe R.A., Minoshima S. Limbic activation and psychophysiologic responses to aversive visual stimuli: Interaction with cognitive task // *Neuropsychopharmacology*. 2000. Vol. 23. No.5. P. 508–516. doi:10.1016/S0893-133X(00)00157-3
- Lieberman M.D., Eisenberger N.I., Crockett M.J., Tom S.M., Pfeifer J.H., Way B.M. Putting feelings into words affect labeling disrupts amygdala activity in response to affective stimuli // *Psychological Science*. 2007. Vol. 18. No.5. P. 421–428. doi:10.1111/j.1467-9280.2007.01916.x
- Macdonald J.S.P., Lavie N. Visual perceptual load induces inattentional deafness // *Attention, Perception & Psychophysics*. 2011. Vol. 73. No.6. P. 1780–1789. doi:10.3758/s13414-011-0144-4
- Maldjian J.A., Laurienti P.J., Kraft R.A., Burdette J.H. An automated method for neuroanatomic and cytoarchitectonic atlas-based interrogation of fMRI data sets // *Neuroimage*. 2003. Vol. 19. No.3. P. 1233–1239. doi:10.1016/s1053-8119(03)00169-1
- Mazaika P.K., Hoeft F., Glover G.H., Reiss A.L. Methods and software for fMRI analysis of clinical subjects // *Neuroimage*. 2009. Vol. 47. Supplement 1. P. S58. doi:10.1016/s1053-8119(09)70238-1
- McMenamin B.W., Marsolek C.J. Can theories of visual representation help to explain asymmetries in amygdala function? // *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*. 2013. Vol. 13. No.2. P. 211–224. doi:10.3758/s13415-012-0139-1

- McRae K., Hughes B., Chopra S., Gabrieli J.D.E., Gross J.J., Ochsner K.N. The neural bases of distraction and reappraisal // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2009. Vol. 22. No.2. P. 248–262. doi:10.1162/jocn.2009.21243
- Meletti S. Damage to the right hippocampal-amygdala formation during early infancy and recognition of fearful faces: Neuropsychological and fMRI evidence in subjects with temporal lobe epilepsy // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2003. Vol. 1000. P. 385–388. doi:10.1196/annals.1280.036
- Miller G.A., Chapman J.P. Misunderstanding analysis of covariance // *Journal of Abnormal Psychology*. 2001. Vol. 110. No.1. P. 40–48. doi:10.1037//0021-843x.110.1.40
- Mitchell D.G.V., Nakic M., Fridberg D., Kamel N., Pine D.S., Blair R.J.R. The impact of processing load on emotion // *Neuroimage*. 2007. Vol. 34. No.3. P. 1299–1309. doi:10.1016/j.neuroimage.2006.10.012
- Molloy K., Griffiths T.D., Chait M., Lavie N. Inattentional deafness: Visual load leads to time-specific suppression of auditory evoked responses // *The Journal of Neuroscience*. 2015. Vol. 35. No.49. P. 16046–16054. doi:10.1523/JNEUROSCI.2931-15.2015
- Morawetz C., Baudewig J., Treue S., Dechent P. Diverting attention suppresses human amygdala responses to faces // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2010. Vol. 4. P. 226:1–14. doi:10.3389/fnhum.2010.00226
- Most S.B., Chun M.M., Johnson M.R., Kiehl K.A. Attentional modulation of the amygdala varies with personality // *Neuroimage*. 2006. Vol. 31. No.2. P. 934–944. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.12.031
- Mothes-Lasch M., Mentzel H.-J., Miltner W.H.R., Straube T. Amygdala activation to fearful faces under attentional load // *Behavioural Brain Research*. 2013. Vol. 237. P. 172–175. doi:10.1016/j.bbr.2012.09.033
- Moyal N., Henik A., Anholt G.E. Cognitive strategies to regulate emotions — current evidence and future directions // *Frontiers in Psychology*. 2013. Vol. 4. P. 1019:1–4. doi:10.3389/fpsyg.2013.01019
- Ochsner K.N., Bunge S.A., Gross J.J., Gabrieli J.D. Rethinking feelings: an fMRI study of the cognitive regulation of emotion // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2002. Vol. 14. No.8. P. 1215–1229. doi:10.1162/089892902760807212
- Ochsner K.N., Gross J.J. The cognitive control of emotion // *Trends in Cognitive Sciences*. 2005. Vol. 9. No.5. P. 242–249. doi:10.1016/j.tics.2005.03.010
- Ochsner K.N., Ray R.R., Hughes B., McRae K., Cooper J.C., Weber J., Gabrieli J.D.E., Gross J.J. Bottom-Up and top-down processes in emotion generation. Common and distinct neural mechanisms // *Psychological Science*. 2009. Vol. 20. No.11. P. 1322–1331. doi:10.1111/j.1467-9280.2009.02459.x
- Ochsner K.N., Silvers J.A., Buhle J.T. Functional imaging studies of emotion regulation: a synthetic review and evolving model of the cognitive control of emotion // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2012. Vol. 1251. No.1. P. E1–E24. doi:10.1111/j.1749-6632.2012.06751.x
- Öhman A. Automaticity and the amygdala: Nonconscious responses to emotional faces // *Current Directions in Psychological Science*. 2002. Vol. 11. No.2. P. 62–66. doi:10.1111/1467-8721.00169
- Okon-Singer H., Hendler T., Pessoa L., Shackman A.J. The neurobiology of emotion-cognition interactions: fundamental questions and strategies for future research // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2015. Vol. 9. P. 58:1–14. doi:10.3389/fnhum.2015.00058
- Paret C., Kluetsch R., Ruf M., Demirakca T., Hoesterey S., Ende G., Schmahl C. Down-regulation of amygdala activation with real-time fMRI neurofeedback in a healthy female sample // *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 2014. Vol. 8. P. 299:1–15. doi:10.3389/fnbeh.2014.00299
- Pessoa L. On the relationship between emotion and cognition // *Nature Reviews Neuroscience*. 2008. Vol. 9. P. 148–158. doi:10.1038/nrn2317
- Pessoa L., Adolphs R. Emotion processing and the amygdala: from a 'low road' to 'many roads' of evaluating biological significance // *Nature Reviews Neuroscience*. 2010. Vol. 11. No.11. P. 773–783. doi:10.1038/nrn2920
- Pessoa L., Japee S., Sturman D., Ungerleider L.G. Target visibility and visual awareness modulate amygdala responses to fearful faces // *Cerebral Cortex*. 2006. Vol. 16. No.3. P. 366–375. doi:10.1093/cercor/bhi115
- Pessoa L., McKenna M., Gutierrez E., Ungerleider L. Neural processing of emotional faces requires attention // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2002. Vol. 99. No.17. P. 11458–11463. doi:10.1073/pnas.172403899
- Pessoa L., Padmala S., Morland T. Fate of unattended fearful faces in the amygdala is determined by both attentional resources and cognitive modulation // *Neuroimage*. 2005. Vol. 28. No.1. P. 249–255. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.05.048
- Phan K.L., Fitzgerald D.A., Nathan P.J., Moore G.J., Uhde T.W., Tancer M.E. Neural substrates for voluntary suppression of negative affect: a functional magnetic resonance imaging study // *Biological Psychiatry*. 2005. Vol. 57. No.3. P. 210–219. doi:10.1016/j.biopsych.2004.10.030
- Phan K.L., Wager T., Taylor S.F., Liberzon I. Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI // *Neuroimage*. 2002. Vol. 16. No.2. P. 331–348. doi:10.1006/nimg.2002.1087
- Phelps E.A., LeDoux J.E. Contributions of the amygdala to emotion processing: from animal models to human behavior // *Neuron*. 2005. Vol. 48. No.2. P. 175–187. doi:10.1016/j.neuron.2005.09.025
- Rorden C., Karnath H.-O., Bonilha L. Improving lesion-symptom mapping // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2007. Vol. 19. No.7. P. 1081–1088. doi:10.1162/jocn.2007.19.7.1081
- Rupp H.A., Wallen K. Sex differences in viewing sexual stimuli: An eye-tracking study in men and women // *Hormones and Behavior*. 2007. Vol. 51. No.4. P. 524–533. doi:10.1016/j.yhbeh.2007.01.008
- Sabatinelli D., Bradley M.M., Fitzsimmons J.R., Lang P.J. Parallel amygdala and inferotemporal activation reflect emotional intensity and fear relevance // *NeuroImage*. 2005. Vol. 24. No.4. P. 1265–1270. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.12.015
- Sabatinelli D., Flaisch T., Bradley M.M., Fitzsimmons J.R., Lang P.J. Affective picture perception: gender differences in visual cortex? // *Neuroreport*. 2004. Vol. 15. No.7. P. 1109–1112. doi:10.1097/00001756-200405190-00005
- Sabatinelli D., Lang P.J., Bradley M.M., Costa V.D., Keil A. The timing of emotional discrimination in human amygdala and ventral visual cortex // *The Journal of Neuroscience*. 2009. Vol. 29. No.47. P. 14864–14868. doi:10.1523/JNEUROSCI.3278-09.2009
- Sanchez T.A., Mocaiber L., Erthal E.S., Joffily M., Volchan E., Pereira M.G., de Araujo D.B., Oliveira L. Amygdala responses to unpleasant pictures are influenced by task demands and positive affect trait // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2015. Vol. 9. P. 107:1–9. doi:10.3389/fnhum.2015.00107
- Schindelin J., Rueden C.T., Hiner M.C., Eliceiri K.W. The ImageJ ecosystem: An open platform for biomedical image analysis // *Molecular Reproduction and Development*. 2015. Vol. 82. No.7–8. P. 518–529. doi:10.1002/mrd.22489
- Sequeira H., Hot P., Silvert L., Delplanque S. Electrical autonomic correlates of emotion // *International Journal of Psychophysiology*. 2009. Vol. 71. No.1. P. 50–56. doi:10.1016/j.ijpsycho.2008.07.009
- Sergerie K., Chochol C., Armony J.L. The role of the amygdala in emotional processing: a quantitative meta-analysis of functional neuroimaging studies // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2008. Vol. 32. No.4. P. 811–830. doi:10.1016/j.neubiorev.2007.12.002
- Shafer A.T., Matveychuk D., Penney T., O'Hare A.J., Stokes J., Dolcos F. Processing of emotional distraction is both automatic and modulated by attention: evidence from an event-related fMRI investigation // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2012. Vol. 24. No.5. P. 1233–1252. doi:10.1162/jocn\_a.00206
- Simpson J.R., Öngür D., Akbudak E., Conturo T.E., Ollinger J.M., Snyder A.Z., Gusnard D.A., Raichle M.E. The emotional modulation of cognitive processing: an fMRI study // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2000. Vol. 12. Supplement 2. P. 157–170. doi:10.1162/089892900564019
- Stillman P.E., Van Bavel J.J., Cunningham W.A. Valence asymmetries in the human amygdala: Task relevance modulates

amygdala responses to positive more than negative affective cues // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2015. Vol. 27. No.4. P. 842–851. doi:10.1162/jocn\_a\_00756

Taylor S.F., Liberzon I., Koeppe R.A. The effect of graded aversive stimuli on limbic and visual activation // *Neuropsychologia*. 2000. Vol. 38. No.10. P. 1415–1425. doi:10.1016/s0028-3932(00)00032-4

Taylor S.F., Phan K.L., Decker L.R., Liberzon I. Subjective rating of emotionally salient stimuli modulates neural activity // *Neuroimage*. 2003. Vol. 18. No.3. P. 650–659. doi:10.1016/s1053-8119(02)00051-4

Townsend J.D., Torrisi S.J., Lieberman M.D., Sugar C.A., Bookheimer S.Y., Althuler L.L. Frontal-amygdala connectivity alterations during emotion downregulation in bipolar I disorder // *Biological Psychiatry*. 2013. Vol. 73. No.2. P. 127–135. doi:10.1016/j.biopsych.2012.06.030

Van Dillen L.F., Heslenfeld D.J., Koole S.L. Tuning down the emotional brain: an fMRI study of the effects of cognitive load on the processing of affective images // *Neuroimage*. 2009. Vol. 45. No.4. P. 1212–1219. doi:10.1016/j.neuroimage.2009.01.016

Vuilleumier P., Armony J.L., Driver J., Dolan R.J. Effects of attention and emotion on face processing in the human brain: an event-related fMRI study // *Neuron*. 2001. Vol. 30. No.3. P. 829–841. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896627301003282>.

Vuilleumier P., Richardson M.P., Armony J.L., Driver J., Dolan R.J. Distant influences of amygdala lesion on visual cortical activation during emotional face processing // *Nature Neuroscience*. 2004. Vol. 7. No.11. P. 1271–1278. doi:10.1038/nn1341

Vul E., Kanwisher N. Begging the question: The non-independence error in fMRI data analysis // *Foundational issues for human brain mapping* / J. Hanson, M. Bunzl (Eds.). Cambridge, MA: MIT Press, 2010. P. 71–91. doi:10.7551/mitpress/9780262014021.003.0007

Wager T.D., Phan K.L., Liberzon I., Taylor S.F. Valence, gender, and lateralization of functional brain anatomy in emotion: a meta-analysis of findings from neuroimaging // *Neuroimage*. 2003. Vol. 19. No.3. P. 513–531. doi:10.1016/s1053-8119(03)00078-8

Whalen P.J., Rauch S.L., Etcoff N.L., McInerney S.C., Lee M.B., Jenike M.A. Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge // *The Journal of Neuroscience*. 1998. Vol. 18. No.1. P. 411–418.

Whitfield-Gabrieli S., Nieto-Castanon A. Conn: a functional connectivity toolbox for correlated and anticorrelated brain networks // *Brain Connectivity*. 2012. Vol. 2. No.3. P. 125–141. doi:10.1089/brain.2012.0073

Williams M.A., McGlone F., Abbott D.F., Mattingley J.B. Differential amygdala responses to happy and fearful facial expressions depend on selective attention // *Neuroimage*. 2005. Vol. 24. No.2. P. 417–425. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.08.017

Williams M.A., Morris A.P., McGlone F., Abbott D.F., Mattingley J.B. Amygdala responses to fearful and happy facial expressions under conditions of binocular suppression // *The Journal of Neuroscience*. 2004. Vol. 24. No.12. P. 2898–2904. doi:10.1523/jneurosci.4977-03.2004

Winston J.S., O'Doherty J., Dolan R.J. Common and distinct neural responses during direct and incidental processing of multiple facial emotions // *Neuroimage*. 2003. Vol. 20. No.1. P. 84–97. doi:10.1016/s1053-8119(03)00303-3

Winston J.S., Strange B.A., O'Doherty J., Dolan R.J. Automatic and intentional brain responses during evaluation of trustworthiness of faces // *Nature Neuroscience*. 2002. Vol. 5. No.3. P. 277–283. doi:10.1038/nn816

Wright C.I., Fischer H., Whalen P.J., McInerney S.C., Shin L.M., Rauch S.L. Differential prefrontal cortex and amygdala habituation to repeatedly presented emotional stimuli // *Neuroreport*. 2001. Vol. 12. No.2. P. 379–383. doi:10.1097/00001756-200102120-00039

## инструментарий

# Использование ПО PXLab для подготовки экспериментов, включающих регистрацию движений глаз с помощью айтрекеров Sensomotoric Instruments

**Александр Владимирович Жегалло**

Институт психологии РАН, Москва, Россия

**Аннотация.** Психологический эксперимент предполагает предъявление стимульного материала и последующую фиксацию ответов испытуемого. Компьютеризованное предъявление изображений и текста с автоматической фиксацией ответов участников может быть реализовано, в частности, с помощью ПО PXLab с открытым исходным кодом. Выполненная доработка PXLab обеспечивает регистрацию движений глаз с использованием оборудования Sensomotoric Instruments. Описываются возможности доработанного программного обеспечения PXLab в части проведения айтрекинговых исследований с автоматической фиксацией ответов испытуемых. Подробно рассматривается пример реализации экспериментального исследования, позволяющий освоить конструирование простых экспериментов с регистрацией движений глаз и ответов испытуемого. Доработанная версия PXLab и примеры использования доступны на <https://sites.google.com/site/azhegallo/main/pxlab>.

**Контактная информация:** Александр Владимирович Жегалло, [zhegs@mail.ru](mailto:zhegs@mail.ru); ул. Ярославская, д.13, Институт психологии РАН, 129366 Москва, Россия.

**Ключевые слова:** регистрация движений глаз, экспериментальные психологические исследования

© 2016 Александр Владимирович Жегалло. Данная статья доступна по лицензии [Creative Commons "Attribution" \(«Атрибуция»\) 4.0. всемирная](#), 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.** Работа выполнена в рамках госзадания ФАНО РФ № 0159-2016-0004.

Статья поступила в редакцию 16 марта 2016 г. Принята в печать 28 сентября 2016 г.

Простейший психологический эксперимент с регистрацией движений глаз предполагает экспозицию стимульного материала на время, достаточное для его рассматривания, и фиксацию некоторого ответа участника, характеризующего рассматриваемое изображение. Традиция проведения подобных исследований восходит к работам А.Л. Ярбуса. При анализе характера рассматривания сложных объектов отмечалось, что глаз останавливается лишь на отдельных элементах

изображения, содержащих «сведения полезные и нужные в момент восприятия» (Ярбус, 1965, с. 125). Далее отмечается, что «в зависимости от задач, которые стоят перед человеком, то есть в зависимости от характера сведений, которые он должен получить, будет соответственно изменяться и распределение точек фиксации на объекте, поскольку различные сведения обычно локализованы в различных частях объекта» (Ярбус, 1965, с. 143). Данное положение иллюстрировалось записями

движений глаз при рассматривании картины И.Е. Репина «Не ждали» при различных инструкциях участникам исследования. Таким образом, обязательное наличие инструкции, даваемой наблюдателю, и фиксация ответов, даваемых в рамках ее выполнения, стали фактическим стандартом при проведении исследований, включающих регистрацию движений глаз.

В последние 10 лет среди российских исследователей широкой популярностью пользуются айтрекеры производства Sensomotoric Instruments (SMI). Линейка оборудования включает стационарную высокоскоростную систему SMI High Speed с частотой регистрации до 1250 Гц в монокулярном режиме и 500 Гц в бинокулярном, используемую с лобно-подбородной опорой; систему RED 250/500, совместимую с компьютерными, телевизионными и проекционными экранами различных размеров и допускающую относительно свободное размещение испытуемого; компактные модули RED250 mobile и REDn scientific; мобильный айтрекер на очковой оправе SMI eyetracking glasses. Вместе с оборудованием может быть приобретено программное обеспечение SMI Experiment Suite™ 360°, включающее SMI Experiment Center™ для проведения экспериментов и SMI BeGaze™ для анализа данных. При покупке программного обеспечения от исследователя требуется выбрать отдельные функциональные элементы, обеспечивающие проведение конкретных типов экспериментов и вариантов анализа данных, причем стоимость приобретаемого программного обеспечения может оказаться сопоставимой со стоимостью оборудования.

В простейшем случае при проведении экспериментального исследования необходима последовательная отработка следующих этапов: предъявление инструкции, предъявление целевого стимульного материала, фиксация ответа. Предъявление инструкции в виде текста на экране и последующая экспозиция целевого изображения не представляют существенных затруднений. В то же время задача фиксации ответа при организации эксперимента с помощью SMI Experiment Center™ решается, на наш взгляд, не вполне адекватно. Элемент конструктора, поддерживающий фиксацию ответов, не допускает изменения шрифтов и расположения текста вопросов. Результат ответа в айтрекинговых данных фиксируется в виде координат нажатия «мыши», что неудобно для дальнейшей обработки. Результат ответа в виде сделанного выбора доступен средствами штатного ПО SMI BeGaze™ и с его использованием может быть экспортирован для дальнейшей обработки сторонним ПО. При жестких требованиях к эргономическим характеристикам отображаемого текста исследователи могут отказаться от использования штатных средств в пользу самостоятельно формируемого экрана со списком вариантов ответов и фиксации реплик испытуемых на диктофон (Бессонова и др., 2015).

При таком подходе происходит потеря информации о точном моменте ответа, что в дальнейшем сужает возможности обработки результатов исследования и предполагает повторный ручной ввод данных для последующего статистического анализа. Автоматическая фиксация ответов, которые дают участники исследования, требует использования специализированного ПО, ориентированного на проведение стан-

дартных психологических исследований. В то же время данное ПО должно поддерживать взаимодействие с аппаратно-программным комплексом, осуществляющим регистрацию движений глаз. Как минимум необходимы следующие операции: запуск регистрации, ее остановка, сохранение результатов в файл, простановка отметок о предъявляемом стимульном материале и действиях участников исследования. В случае айтрекеров SMI такое взаимодействие может быть реализовано с помощью программного обеспечения iView X™ SDK, включающего интерфейсы для популярных программ, предназначенных для проведения психофизических исследований (E-Prime, NBS Presentation, Psychophysics Toolbox, PsychoPy) и API для ряда универсальных языков программирования (C/C++, Python; C#; MATLAB). Также поддерживается взаимодействие с айтрекерами на уровне управляющих команд (Remote Commands), отправляемых по протоколу UDP (iView X System Manual, 2011).

Проблема организации айтрекинговых экспериментов обсуждалась в ходе дискуссии, проходившей на конференции «Айтрекинг в психологической науке и практике» (Москва, 16–17 октября 2015 г.). Можно утверждать, что имеющаяся у исследователей потребность в организации простейших экспериментов, включающих экспозицию статических изображений и последующую автоматическую фиксацию ответов, не покрывается возможностями программного обеспечения SMI Experiment Center™. Целесообразность приобретения дополнительного коммерческого программного обеспечения (E-Prime, NBS Presentation, EventIDE и др.) определяется конкретными целями и задачами исследователя. Высокая стоимость дополнительного программного обеспечения, его относительно малая распространенность, существенные различия в тематике исследований, относительная ограниченность коммуникации с другими исследовательскими группами не позволяют сформировать исчерпывающие рекомендации по оптимальному его использованию. Наш собственный опыт использования E-Prime как среды для подготовки айтрекинговых исследований следует признать скорее неудачным. Единственным преимуществом E-Prime по сравнению со штатным ПО оказалась возможность точного контроля времени экспозиции. Удобный интерактивный способ фиксации ответов в E-Prime не предусмотрен в силу ориентации на психофизические, но не общепсихологические эксперименты.

В качестве удачного примера использования дополнительного ПО можно указать использование EventIDE в айтрекинговом исследовании, направленном на изучение восприятия постепенно проявляющихся изображений (Koltunova, Podladchikova, 2013). Следует отметить, что в данном случае успех был достигнут в значительной степени за счет эффективного взаимодействия с разработчиком ПО.

При наличии у экспериментатора навыков программирования возможны весьма гибкие реализации взаимодействия с оборудованием SMI, обеспечивающие требуемую в конкретном исследовании функциональность. В исследованиях, проводящихся нами и нашими коллегами в Центре эксперименталь-

ной психологии МГППУ, данный способ работы получил широкое распространение. Так, с помощью пакета PsychoPy (Peirce, 2007) успешно была реализована фиксация ответов испытуемых по ходу просмотра видеофрагментов (Жегалло, Хозе, 2015) и парный айтрекинг-эксперимент с синхронным предъявлением стимульного материала двум участникам (Ананьева, Басюл, Харитонов, 2015). На языке Action Script была реализована программа для предъявления стимулов во время саккады (Жердев, Барабанщиков, 2014). Существенным недостатком такого подхода является практическая невозможность изменения функциональности и использования программ без помощи автора оригинальной разработки.

Завершая обзор имеющихся средств проведения айтрекинг-экспериментов с использованием оборудования SMI, сопоставим возможности различных вариантов решения данной задачи. Штатное ПО SMI Experiment Center™ характеризуется высокой стоимостью, удовлетворительной функциональностью, низким порогом освоения, простой повторяемостью экспериментальных исследований. Дополнительное коммерческое ПО (E-Prime, Presentation, Event IDE) характеризуется высокой стоимостью (приобретается, как правило, в дополнение к штатному ПО), средним порогом освоения, сложной повторяемостью экспериментальных исследований. Использование языков и сред программирования общего назначения требует от экспериментатора навыков программирования, характеризуется высоким порогом вхождения, максимальной функциональностью и крайне высокой сложностью повторения экспериментальных исследований.

Целью настоящей статьи является описание альтернативного способа подготовки айтрекинг-экспериментов. Предлагаемый способ характеризуется низкими материальными затратами, средним порогом освоения (сопоставимым с порогом освоения коммерческого ПО), средней функциональностью (в некоторых аспектах заведомо превосходящей штатное ПО), удобством воспроизведения экспериментальных исследований.

В качестве основы для реализации экспериментальных айтрекинг-исследований использовано ПО PXLab (Irtel, 2007) с открытым исходным кодом. PXLab представляет собой коллекцию классов на языке Java, реализующую широкий спектр визуальных компонент, применяемых в психологических экспериментах. Поддерживается вывод текстовых элементов (TextParagraph, TextFile, Message, Instruction, TextInput и др.), простейших геометрических объектов (Arrow, SimpleBar, SimpleDisk, PolyArea, FixationMark и др.), статических изображений (Picture), звуковых сигналов (Beep, SoundFile, SyntheticSound). В состав ПО также входят специализированные классы для изучения цветового зрения, восприятия движения, восприятия пространственного контраста и др. Хорошо проработанная система синхронизации и таймеров обеспечивает точный контроль и высокую стабильность времени экспозиции вплоть до одного кадра видеоразвертки.

PXLab содержит классы, позволяющие эффективно реализовать различные варианты опросников. С помощью класса MultipleChoiceQuestion реализует-

ся выбор одного из нескольких развернутых текстовых вариантов ответа на заданный вопрос. В случае, если вопрос предполагает краткие варианты ответа, например «Да», «Нет», «Не знаю», необходимая функциональность может быть удобно реализована с помощью класса ChoiceResponse. Рейтинговая оценка по дискретной либо непрерывной шкале реализуется с помощью класса RatingScale. Ранжирование объектов, представленных текстовыми строками, по заданному признаку выполняется с помощью класса ItemRanking. В состав ПО входит набор примеров, демонстрирующих широкие возможности реализации экспериментальных исследований.

Структура проводимого эксперимента описывается в специальном файле. Необходимость изучения синтаксиса данного файла, фактически представляющего собой специализированный язык программирования, собственно и задает порог вхождения, требуемый для начала работы. Настоящая статья содержит детальный разбор структуры файла описания эксперимента в объеме, достаточном для реализации простейших экспериментов.

Документация к ПО содержит специальный раздел, адресованный разработчикам, желающим расширить функциональность PXLab, и подробно описывающий детали реализации программы. В большинстве случаев расширение функциональности может быть достигнуто за счет написания дополнительных модулей, без внесения изменений в существующий исходный код.

Модифицированный вариант PXLab и рассмотренные в статье примеры<sup>1</sup> реализации айтрекинг-экспериментов доступны для скачивания по адресу <https://sites.google.com/site/azhegallo/main/pxlab> и в [онлайн-приложении](#) к статье.

### Краткая характеристика выполненной доработки ПО PXLab

Для обеспечения совместной работы с айтрекерами SMI нами реализована дополнительная компонента SendUDP(), выполняющая отправку заданного UDP-пакета на заданный порт на заданном IP-адресе. С ее помощью осуществляется передача управляющей информации от PXLab к управляющему ПО айтрекеров SMI. Благодаря этому становится возможной синхронизация записи движений глаз с информацией о смене предъявляемого стимульного материала и действиях, выполняемых испытуемым. Таким образом, становится возможным использование полной функциональности PXLab в эксперименте, включающем регистрацию движений глаз.

Адрес и содержание отправляемого сообщения задаются параметрами UdpHost, UdpPort, UdpMessage. Значения IP-адреса и порта определяются настройками айтрекера. Возможные варианты отправляемого UDP-сообщения описаны в документации на айтре-

<sup>1</sup> По техническим причинам (PDF-файл содержит дополнительные символы перевода строк, приводящие к синтаксическим ошибкам при выполнении программы) фрагменты кода, приведенные в PDF-версии статьи, не могут быть непосредственно выполнены в PXLab. При повторении описываемых экспериментов читателям предлагается скачать текстовые файлы с рассмотренными в статье примерами.

кер. Инициация начала записи движений глаз выполняется отправкой сообщения ET\_REC\n (\n — здесь символ перевода строки, завершающий отправляемое сообщение). Информация об экспериментальной ситуации передается сообщением ET\_REM data\n. Поле data в простейшем случае представляет собой имя файла с предъявляемым изображением, в общем случае — произвольную информацию, характеризующую процесс развертывания экспериментальной ситуации. Завершение записи движений глаз выполняется путем последовательной отправки сообщений ET\_STP\n — остановка записи и ET\_SAV filename\n — сохранение результатов в файл. Поле filename представляет собой полное имя файла, в который будет выполняться запись.

Интерактивный выбор вариантов ответа требует наличия на экране курсора мыши. В то же время при рассматривании целевого изображения наличие курсора мыши не желательно. Для управления отображения курсором мыши дополнительно реализовано свойство отображаемых объектов MouseOn.

Процедура калибровки, предшествующая проведению эксперимента, реализована с помощью компоненты CalibrationSMI(). Калибровка выполняется в автоматическом режиме, аналогично работе штатного ПО SMI. Результаты калибровки первой (центральной) точки принимаются вручную, нажатием клавиши «пробел». Число точек калибровки задается в процедуре калибровки. Работа процедуры проверялась на айтрекере SMI High Speed (5 и 9 точек) и на айтрекере SMI RED-m (5 точек). Координаты точек калибровки определяются настройками штатного ПО SMI, обеспечивающего работу оборудования. По окончании калибровки автоматически выполняется валидация результатов. В отличие от штатного ПО SMI последних версий, где валидация выполняется по четырем точкам, являющимся вершинами прямоугольника, находящегося в средней части экрана, в нашей процедуре валидация осуществляется для того же набора точек, что и калибровка, что позволяет оценить точность локализации взора на всей площади экрана. По окончании процедуры валидации результат отображается в виде изображения позиций точек калибровки (черные кружки) и фактических позиций локализации взора испытуемого (красные кресты). Принятие результатов процедуры осуществляется клавишей «пробел», повторное выполнение процедуры калибровки — клавишей «г». Калибровочная точка на экране представляет черный кружок с пульсирующим светлым центром. Реализация процедуры происходит в режиме диалога между PXLab и управляющим айтрекером ПО iViewX (iView X System Manual, 2011). PXLab инициирует процедуру калибровки, посылая команду ET\_CAL. В ответ iViewX отправляет информацию о параметрах калибровки: число калибровочных точек, размер экрана, координаты каждой из калибровочных точек и в заключение — указание о том, что необходимо отобразить заданную калибровочную точку. Получив данное указание, управляющая программа отображает соответствующую калибровочную точку. Процедура повторяется последовательно для всех точек, после чего iViewX передает указание о завершении процедуры

калибровки. После завершения процедуры калибровки для проверки ее качества PXLab вновь отображает калибровочную точку в каждой из заданных позиций, после чего посылает команду ET\_VLX с указанием координат отображаемой точки. В ответ iViewX анализирует текущие координаты взора наблюдателя и сообщает рассогласование с заданными координатами.

Приемы конструирования экспериментов описаны в руководстве по PXLab. В поставку также входят примеры экспериментов, реализованных с помощью данного ПО. В настоящей статье мы ограничимся разбором реализации простейших айтрекинг-экспериментов.

## Структура эксперимента

В качестве примера рассмотрим следующий эксперимент. Участникам исследования последовательно экспонируются фотоизображения различных натурщиков. Необходимо рассмотреть каждое изображение и дать ответ, характеризующий пол (мужчина или женщина) и возраст (молодой или пожилой) каждого натурщика. Перед экспозицией изображения на 1 секунду показывается фиксационный крест в центре экрана. Время экспозиции каждого изображения составляет 3 секунды. После завершения экспозиции на экран выводится вопрос: «Кто изображен на картинке» и четыре варианта ответа: «молодой мужчина», «молодая женщина», «пожилой мужчина», «пожилая женщина». Ответ дается путем выбора мышкой одного из вариантов ответа и нажатия клавиши «пробел». В начале работы показывается инструкция участнику исследования. Завершается исследование появлением надписи «Эксперимент закончен. БОЛЬШОЕ СПАСИБО!». Регистрация движений глаз начинается в момент исчезновения инструкции и завершается в момент появления сообщения о завершении эксперимента. Отметки о смене экспериментальной ситуации для айтрекера отправляются в момент появления фиксационного креста, в момент появления целевого изображения, в момент появления экрана с вариантами ответов и в момент, когда испытуемый дал ответ.

В качестве стимульного материала использованы фотоизображения натурщиков, включенные в дистрибутив PXLab<sup>2</sup>. Как уже отмечалось, для реализации эксперимента нам необходимо создать файл, содержащий его описание в специальном виде, определенном разработчиками PXLab. Описание эксперимента имеет следующую структуру:

```
Experiment() {
    Context() {
        // описание контекста эксперимента
    }
    Procedure() {
        // описание процедуры выполнения
    }
}
```

<sup>2</sup> Следует отметить, что штатный пример, использующий данные изображения, представляет собой более сложный эксперимент — тест имплицитных ассоциаций (см. файл описания эксперимента iat.pxd в дистрибутиве). Доработку указанного примера, связанную с обеспечением регистрации движений глаз, оставляем читателям в качестве самостоятельного упражнения.

Основное назначение раздела `Context` — описание последовательности стимулов, предъявляемых во время отдельной экспериментальной ситуации. Также в разделе `Context` выполняется задание значений глобальных параметров. Раздел `Procedure` служит для задания последовательности сессий, блоков и экспериментальных ситуаций в ходе выполнения эксперимента. В случае простейшего айтрекингового эксперимента раздел `Context` будет содержать следующие четыре подраздела: `AssignmentGroup`, `Block`, `BlockEnd`, `Trial`.

Раздел `AssignmentGroup` включает инициализацию глобальных переменных.

```
AssignmentGroup() {
    ExperimentName = "Simple Eyetracking study";
    SkipBoundingBlockDisplays = 0;
    DataFileTrialFormat = "%SubjectCode%,
%Trial.Picture.FileName%,
%Trial.MultipleChoiceQuestion.Selection%,
%Trial.Picture.ResponseTime%,
%Trial.MultipleChoiceQuestion.ResponseTime%";
    RandomizeTrials = 1;
    new iViewHost = "127.0.0.1";
    new iViewPort = 4444;
    new ImgDir =
"C:\pxlab\pxd\images\old_young\\";
    ScreenBackgroundColor = lightGray();
    StopKey = de.pxlab.pxl.KeyCodes.ESCAPE_KEY;
    new CalibrationFormat = "%SubjectCode%,
%Trial:C.CalibrationSMI.vPointsX%,
%Trial:C.CalibrationSMI.vPointsY%,
%Trial:C.CalibrationSMI.gPointsX%,
%Trial:C.CalibrationSMI.gPointsY%";
}
```

#### Назначение переменных:

`ExperimentName` — название эксперимента.

`SkipBoundingBlockDisplays` — указание на то, что не следует пропускать описания в разделах `Block()` и `BlockEnd()` первого и последнего блоков секции.

`DataFileTrialFormat` — формат выходного файла (основной блок исследования).

`RandomizeTrials` — указание предъявлять экспериментальные ситуации в случайном порядке

`iViewHost` — IP-адрес компьютера, на котором работает управляющее ПО айтрекера.

`iViewPort` — номер порта компьютера, на котором управляющее ПО айтрекера ведет прием команд

`ImgDir` — адрес папки, в которой содержатся предъявляемые изображения.

`ScreenBackgroundColor` — цвет фона.

`StopKey` — выделенная клавиша, код которой отрабатывается в специальных случаях средствами PXLab (см. документацию PXLab).

`CalibrationFormat` — формат выходного файла (процедура калибровки).

Процедура калибровки определяется разделами `Block:C()`, `BlockEnd:C()`, `Trial:C()`. Первые два соответствуют операциям, которые можно было бы выполнять непосредственно до калибровки и после ее заверше-

ния, в данной реализации — пустые. Раздел `Trial:C()` включает единственный подраздел `CalibrationSMI()`, описывающий характеристики проводимой процедуры калибровки.

```
Trial:C(DataFileTrialFormat,CalibrationSMI.
vPointsX,CalibrationSMI.vPointsY,CalibrationSMI.
gPointsX,CalibrationSMI.gPointsY) {
    CalibrationSMI() {
        Timer = de.pxlab.pxl.TimerBitCodes.STOP_KEY_
TIMER_BIT|de.pxlab.pxl.TimerBitCodes.KEY_TIMER_
BIT|de.pxlab.pxl.TimerBitCodes.END_OF_MEDIA_
TIMER_BIT;
        OnOffTimer = de.pxlab.pxl.TimerCodes.VS_CLOCK_
TIMER;
        OnDuration = 15;
        OffDuration = 0;
        Color = Black;
        eSize = 40;
        iColor = White;
        NCPoints = 5;
        InIP = "127.0.0.1";
        OutIP = "127.0.0.1";
        InPort = 5555;
        OutPort = 4444;
        LTime = 10000;
    }
}
```

#### Назначение переменных:

`Timer` — устанавливает биты таймера, необходимые для работы процедуры калибровки. Изменять не следует.

`OnOffTimer` — устанавливает тип таймера, применяемый для обновления изображения при калибровке. Изменять не следует.

`OnDuration` — продолжительность основной фазы обновления изображения (в миллисекундах). По порядку величины должна соответствовать времени видеоразвертки одного кадра. Увеличение данной величины может привести к нарушению нормальной работы процедуры калибровки.

`OffDuration` — продолжительность дополнительной фазы обновления изображения. Изменять не следует.

`Color` — цвет калибровочной точки.

`iColor` — цвет центральной части калибровочной точки.

`eSize` — диаметр в пикселях внешнего круга калибровочной точки.

`iSize` — диаметр в пикселях внутренней области калибровочной точки.

`NCpoints` — число калибровочных точек. Для SMI High Speed рекомендуется 5 или 9 точек, для SMI RED-m — 5 точек.

`InIP` — IP-адрес, на который `iViewX` будет отсылать пакеты программе, управляющей экспериментом. Имеющаяся настройка соответствует случаю запуска `iViewX` и PXLab на одной машине. См. SMI iView X System Manual.

`OutIP` — IP-адрес, на который PXLab будет отправлять пакеты для `iViewX`. Имеющаяся

настройка соответствует случаю запуска iViewX и PXLab на одной машине.

InPort — порт, на который iViewX будет отсылать пакеты программе, управляющей экспериментом.

OutPort — порт, на который PXLab будет отправлять пакеты для iViewX.

LTime — таймаут ожидания пакета от iViewX.

Изменять не рекомендуется.

Следует отметить, что в нашей программе присутствуют наборы однотипных разделов (основанных на одних и тех же классах PXLab), соответствующие двум операциям: калибровка и предъявление стимульного материала. Предъявление стимульного материала задается в разделах Block(), BlockEnd(), Trial(), а калибровка — в разделах Block:C(), BlockEnd:C(), Trial:C(). Чтобы их различать, в случае процедуры калибровки после имени раздела мы произвольно добавили уникальный постфикс :C. Далее по тексту программы добавление различных постфиксов будет использоваться при необходимости использования объектов, основанных на одном и том же классе. Например, за отправку UDP-пакета отвечает реализованный нами класс SendUDP, при этом подразделы, в которых он используется, получают произвольно заданные нами уникальные постфиксы. Имена соответствующих подразделов получают вид: SendUDP:start\_record, SendUDP:stop, SendUDP:save, SendUDP:picture, SendUDP:ask\_answer.

Итак, процедура предъявления изображения определяется разделами Block(), BlockEnd(), Trial(). Раздел Block() описывает действия, которые следует выполнить в начале блока экспериментальных ситуаций, и включает подразделы TextParagraph и SendUdp:start\_record.

```
Block(TrialFactor, RandomizeTrials){
    TextParagraph(){
        Timer = RESPONSE_TIMER;
        ResponseSet = SPACE_KEY;
        Color = black();
        Alignment = CENTER;
        Text = ["ИНСТРУКЦИЯ",
            "Внимательно рассмотрите предъявляемое изображение.",
            " ",
            "Если Вам понятно задание и Вы готовы начать работу, нажмите <<пробел>>."];
    }
    SendUDP:start_record() {
        Timer = NO_TIMER;
        UdpHost = iViewHost;
        UdpPort = iViewPort;
        UdpMsg = "ET_REC\n";
    }
}
```

Подраздел TextParagraph описывает сообщение — инструкцию, выводимую по центру экрана.

Подраздел SendUDP:start\_record отвечает за посылку UDP-пакета, сообщающего ПО айтрекера о необходимости начала записи.

Раздел BlockEnd() описывает действия, которые следует совершить по окончании блока экспериментальных ситуаций, и включает следующие подразделы. SendUDP:stop — посылает UDP-пакет, сообщающий

о необходимости завершения записи. SendUDP:save посылает UDP-пакет, сообщающий, в какой файл следует сохранить данные, имя файла включает уникальный идентификатор испытуемого. Message описывает сообщение, выводимое на экран по завершении эксперимента.

```
BlockEnd(){
    SendUDP:stop() {
        Timer = NO_TIMER;
        UdpHost = iViewHost;
        UdpPort = iViewPort;
        UdpMsg = "ET_STP\n";
    }
    SendUDP:save() {
        Timer = NO_TIMER;
        UdpHost = iViewHost;
        UdpPort = iViewPort;
        UdpMsg = "ET_SAV C:\\Zhegs\\ET\\SMI_%SubjectCode%.idf\n";
    }
    Message(){
        Timer = de.pxlab.pxlab.TimerCodes.CLOCK_TIMER|de.pxlab.pxlab.TimerCodes.RESPONSE_TIMER;
        ResponseSet = SPACE_KEY;
        FontSize = 60;
        Alignment = CENTER;
        Color = black();
        Duration = 5000;
        Text = ["Эксперимент закончен.", "БОЛЬШОЕ СПАСИБО!"];
    }
}
```

Раздел Trial() описывает последовательность предъявления стимульного материала в ходе экспериментальной ситуации и включает следующие подразделы. SendUdp:fixpoint — отправка UDP-пакета, информирующего о предъявлении фиксационного креста. FixationMark — предъявление фиксационной отметки. Отметка имеет вид креста (FIXATION\_CROSS), показывается на заданное время (что определяется типом таймера), время экспозиции составляет 1000 мс (параметр Duration), цвет — черный.

SendUdp:picture — отправка UDP-пакета, информирующего о предъявлении целевого изображения (передается имя изображения Trial.Picture.FileName).

Picture — предъявление целевого изображения. Время экспозиции составляет 3000 мс, изображение находится в папке ImgDir. Название файла с изображением определяется параметром Trial.Picture.FileName. ClearScreen:after показывает пустой экран на 15 мс и включает отображение курсора мыши (MouseOn = 1).

SendUdp:ask\_answer — отправка UDP-пакета, информирующего о предъявлении списка вариантов ответа. MultipleChoiceQuestion — предъявление списка вариантов ответа. Задаваемый вопрос определяется параметром Text, варианты ответа — параметром Choices. Параметр Unique = 1 указывает, что допустим только один вариант ответа. Параметр SelectionColor = White определяет цвет подсветки выбранного варианта ответа. Параметр ResponseSet = SPACE\_KEY указывает, что завершение выбора выполняется нажатием клавиши пробел.

SendUDP:snd\_answer отправляет UDP-пакет, содержащий информацию о выполненном выборе, содержащуюся в полях

Trial.MultipleChoiceQuestion.Selection и Trial.MultipleChoiceQuestion.ResponseTime.

```

Trial(Picture.FileName,
MultipleChoiceQuestion.Selection,
MultipleChoiceQuestion.ResponseTime) {
    SendUDP:fixpoint() {
        Timer = NO_TIMER;
        UdpHost = iViewHost;
        UdpPort = iViewPort;
        UdpMsg = "ET_REM fix.bmp\n";
    }
    FixationMark() {
        MouseOn = 0;
        Timer = CLOCK_TIMER;
        Type = FIXATION_CROSS;
        Color = Black;
        Duration = 1000;
    }
    SendUDP:picture() {
        Timer = NO_TIMER;
        UdpHost = iViewHost;
        UdpPort = iViewPort;
        UdpMsg = "ET_REM %Trial.Picture.FileName%\n";
    }
    Picture() {
        Timer = CLOCK_TIMER;
        Directory = ImgDir;
        Duration = 3000;
    }
    ClearScreen:after() {
        MouseOn = 1;
        JustInTime = 1;
        Timer = CLOCK_TIMER;
        Duration = 15;
    }
    SendUDP:ask_answer() {
        Timer = NO_TIMER;
        UdpHost = iViewHost;
        UdpPort = iViewPort;
        UdpMsg = "ET_REM ASK.bmp\n";
    }
    MultipleChoiceQuestion() {
        LocationX = -200;
        Width = 600;
        Text = ["Кто изображен на картинке?"];
        Choices = ["молодой мужчина", "молодая женщина", "пожилой мужчина", "пожилая женщина"];
        Timer = MOUSE_TRACKING_KEY_TIMER;
        Color = black();
        Unique = 1;
        SelectionColor = White;
        ResponseSet = SPACE_KEY;
    }
    SendUDP:snd_answer() {
        JustInTime = 1;
        Timer = NO_TIMER;
        UdpHost = iViewHost;
        UdpPort = iViewPort;
        UdpMsg = "ET_REM %Trial.
MultipleChoiceQuestion.Selection%,
%Trial.MultipleChoiceQuestion.ResponseTime|
answer.bmp\n";
    }
}

```

## Управление последовательностью предъявлений

Раздел Procedure описывает последовательность развертывания сценария эксперимента и имеет следующий вид.

```

Procedure() {
    Session() {
        Block:C() {
            Trial:C(CalibrationFormat,?, ?, ?, ?);
        }
        Block(1, 1) {
            Trial("adlerbr0.jpg", ?, ?);
            Trial("augusan0.jpg", ?, ?);
            Trial("babelgi0.jpg", ?, ?);
            Trial("braukra0.jpg", ?, ?);
            Trial("dieckro0.jpg", ?, ?);
            Trial("dzembde0.jpg", ?, ?);
            Trial("eich_lu0.jpg", ?, ?);
        }
    }
}

```

Эксперимент содержит единственную сессию, внутри которой находятся два блока: процедуры калибровки (Block:C) и основного эксперимента (Block).

Для экспериментальной ситуации калибровки (Trial:C) в блоке калибровки задается нестандартный формат выходных данных и четыре выходных параметра, соответствующих X и Y координатам использовавшихся точек калибровки (и одновременно валидации), а также X и Y координатам точек фактических позиций взора наблюдателя, полученным в результате процедуры валидации.

Основной блок представляется однократно (первый параметр вызова), причем экспериментальные ситуации (Trial) следует показывать в случайном порядке (второй параметр вызова). Всего эксперимент включает семь экспериментальных ситуаций (соответствующие строки Trial). Первый аргумент, соответствующий параметру Picture.FileName, задает имя файла с экспонируемым изображением. При этом предполагается, что ПО PXLab установлено в полном объеме в папку C:\pxlab. Вторым и третьим аргументами обозначены знаками вопроса, указывающими, что соответствующие параметры MultipleChoiceQuestion.Selection и MultipleChoiceQuestion.ResponseTime являются выходными и их значения формируются по завершении экспериментальной ситуации.

## Установка PXLab и запуск простейшего эксперимента

Использование PXLab требует предварительной установки Java Runtime Environment (тестировалось с версиями 6, 7, 8 JRE). ПО PXLab скачивается с сайта <http://irtel.uni-mannheim.de/pxlab/> (архив PXLabRT.zip) и разархивируется в папку c:\pxlab. Файл pxlab.jar, содержащийся в архиве, заменяется на модифицированный вариант. Инструкция по установке и использованию PXLab также доступна на сайте [www.pxlab.de](http://www.pxlab.de). Для оптимальной организации процедуры эксперимента рекомендуется следующая последовательность действий.

1. Разархивировать архив PXLabRT.zip в папку C:\pxlab.
2. Модифицированный файл pxlab.jar помещается в папку C:\ProgramFiles\Java\%java\_version%\lib\ext, где %java\_version% соответствует установленной версии Java.
3. На компьютер устанавливается текстовый редактор Notepad++.

4. В произвольную папку помещаются: прилагаемый файл сценария эксперимента ET\_minimal.txt. В нее же копируются файлы jxinput.dll, pxlab.dll, JNIsiapp.dll из C:\pxlab\bin.

5. В той же папке создается стартовый файл runexp.bat, содержащий команду java de.pxlab.pxlab.run.ExRun -f ET\_minimal.txt -S5. Параметр -f указывает на выполняемый файл сценария, -S5 — задает предъявление в монопольном полноэкранном режиме на втором экране компьютера. Параметры видеорежима при запуске не изменяются.

6. Запуск эксперимента выполняется файлом runexp.bat, после чего в открывшемся окне следует ввести произвольный Subject Identification Code, уникальным образом идентифицирующий испытуемого. По завершении эксперимента файл с протоколом эксперимента будет находиться в поддиректории dat, а файл с дополнительной отладочной информацией — в поддиректории dtr.

7. Для обеспечения взаимодействия с айтрекером следует задать значения iViewHost и iViewPort в блоке AssignmentGroup эксперимента в соответствии с настройками айтрекера. В подразделе SendUdp:save следует задать желаемый путь, по которому будет выполняться сохранение данных айтрекера. В подразделе CalibrationSMI следует задать значения InIP, OutIP, InPort, OutPort, NCPoints.

## Ограничения PXLab

Существенной проблемой ПО PXLab являются ограничения на форматы воспроизводимых видеофайлов и звуковых файлов, характерные для любого ПО, реализуемого на языке Java. Воспроизведение звукового файла реализовано с помощью класса **SoundControl**, запись с микрофона — классами **SoundRecorder** и **SoundRecorderControl**, фиксация момента устного ответа — классом **VoiceKey**. Практические возможности данной функциональности нами не проверялись. Воспроизведение видеофайла реализовано с помощью класса **Movie**. На практике необходим подбор кодека, обеспечивающего стабильность воспроизведения, что может привести к неоправданному увеличению объема воспроизводимого файла. Отсутствие собственного практического опыта не позволяет нам рекомендовать PXLab для проведения исследований, включающих запись и воспроизведение аудиофайлов, воспроизведение видеофайлов.

PXLab может быть запущена под Linux, по крайней мере на Debian-подобных дистрибутивах (тестировалась на Ubuntu 15.10), при условии установки проприетарной версии Java от Oracle. Запуск возможен только в полноэкранном режиме, смена разрешения экрана при запуске возможна, смена частоты кадровой развертки — нет. Следует иметь в виду, что под Linux не реализована возможность синхронизации с видеоразверткой экрана и, соответственно, время экспозиции стимульного материала может быть задано с точностью плюс/минус кадр видеоразвертки.

В штатную поставку выполняемого модуля PXLab входит реализация интерактивного конструктора экспериментов Design Editor. Однако исходный код, предоставленный разработчиками PXLab, не включает реализацию данного компонента. Таким образом, при

самостоятельной сборке PXLab получаемый выполняемый модуль не будет включать Design Editor. Из-за этого конструктор Design Editor отсутствует в доработанной нами версии выполняемого модуля PXLab.

## Обработка результатов айтрекингового эксперимента, реализованного в PXLab

Результатом айтрекингового эксперимента, выполняемого под управлением ПО PXLab, являются два файла. Текстовый файл с расширением .dat содержит протокол эксперимента в формате, указанном при задании сценария. Его обработка выполняется стандартными средствами, например Excel. В случае рассмотренного эксперимента содержание .dat файла (определяемое переменной DataFileTrialFormat в разделе AssignmentGroup) будет иметь следующий вид:

```
Z,[640, 320, 1267, 960, 13],[512, 10, 256, 1014, 768],[643, 309, 1257, 949, 57],[505, 35, 250, 1016, 765]
Z,babelgi0.jpg,4,3005.1037,4230.0406
Z,dzembde0.jpg,3,3004.918,3141.6332
Z,adlerbr0.jpg,1,3005.0568,2206.2532
Z,braukra0.jpg,1,3004.6906,1110.462
Z,dieckro0.jpg,1,3004.7201,817.7815
Z,augusan0.jpg,4,3004.6691,2637.1474
Z,eich_lu0.jpg,3,3004.7284,1967.5415
```

Первая строка содержит результат выполнения процедуры калибровки и позволяет оценить точность локализации взора в разных зонах экрана. Дальнейшие строки соответствуют данным по отдельным экспериментальным ситуациям. Поля в строке разделяются запятыми. Первое поле %SubjectCode% — уникальный идентификатор участника, задаваемый экспериментатором. Второе поле %Trial.Picture.FileName% — имя экспонируемого файла с изображением. Третье поле — %Trial.MultipleChoiceQuestion.Selection% — код ответа испытуемого. Четвертое поле %Trial.Picture.ResponseTime% — фактическое время предъявления изображения. Пятое поле %Trial.MultipleChoiceQuestion.ResponseTime% — время, затраченное на ответ (с момента показа возможных вариантов ответа).

Файл с расширением .idf содержит результаты регистрации движений глаз во внутреннем формате SMI IView Data File (iView X System Manual, 2011). В нем содержится информация о положении взора наблюдателя в координатах экрана компьютера, на котором демонстрируется рассматриваемое изображение. Величина временного интервала между последовательными записями определяется частотой регистрации айтрекера. Также в файле содержатся отметки о предъявлении очередного изображения. В случае рассмотренного эксперимента файл данных будет содержать отметки о показе фиксационной точки, целевого изображения, списка вариантов ответа и данном пользователем ответе. Для проведения дальнейшего анализа движений глаз может быть использовано штатное ПО BeGaze, поставляемое с айтрекерами Sensomotoric Instruments. В этом случае исследователь должен самостоятельно обеспечить подготовку изображений — подложек, размер которых соответствует разрешению экрана при проведении эксперимента, а содержание — фактически экспонировавшимся на экране изображениям. В рассмотренном

примере для анализа в BeGaze нужно будет подготовить полноэкранное изображение с фиксационной точкой (имя файла — fix.bmp); полноэкранные изображения с рассматриваемыми фотографиями (имена файлов совпадают с именами файлов, использованных в качестве стимульного материала); полноэкранное изображение со списком вариантов ответов (имя файла ASK.bmp). При этом анализ ответов, даваемых участниками исследования, средствами BeGaze осуществить не удастся.

Выбор альтернативных вариантов свободно расширяемого программного обеспечения для обработки результатов эксперимента определяется потребностями исследователя. Экспорт данных из idf-файла в текстовый формат выполняется с помощью штатной программы IDF-Converter. Полученный файл с «сырыми» данными может быть, например, загружен в программу OGAMA (Open Gaze and Mouse Analyzer) (Voßkübler et al, 2008). Еще один возможный вариант — использование среды статистической обработки R с дополнительно разработанным нами пакетом ETRAN (Мармалюк и др., 2015; Zhegallo, Marmalyuk, 2015).

### Заключительные комментарии

Доработанная версия ПО PXLab рекомендуется для проведения айтрекинговых исследований с использованием регистрирующего оборудования Sensomotoric Instruments, в первую очередь при проведении экспериментов, включающих рассматривание статических изображений и текстов и последующую автоматическую фиксацию ответов. В качестве примера такого исследования можно привести решение задачи опознания эмоционального состояния по фотоизображению (Жегалло, 2015). Участники исследования рассматривали статические фотоизображения лиц натурщиков, выражающих различные эмоциональные экспрессии; ответ давался в форме выбора одного из возможных названий эмоции из закрытого списка<sup>3</sup>. В качестве дополнительного примера возможностей PXLab на сайте разработчика помещен пример tst\_AVX, содержащий реализацию дискриминационной AVX-задачи с регистрацией движений глаз. Данная методика используется при изучении категориальности восприятия эмоциональных экспрессий (Барабаничиков, Жегалло, Королькова, 2016). Принципы реализации в целом аналогичны рассмотренному примеру. Одновременная экспозиция двух изображений достигается за счет использования режима Overlay = Join. Комбинированная фиксация ответа как во время экспозиции последнего изображения (X), так и после него, обеспечивается предварительным формированием значений переменных ADuration и AText в подразделах SetParameter:IsAnswer() и SetParameter:IsAnswer2(). Контроль момента выполнения дополнительно обеспечивается использованием настроечного параметра JustInTime.

Мы позиционируем PXLab как один из элементов экосистемы программного обеспечения с открытым

исходным кодом, используемого для проведения экспериментальных исследований и последующей обработки результатов.

Для облегчения освоения ПО в Приложении 1 приводится справочная информация, описывающая классы PXLab, использованные при реализации рассмотренного в статье эксперимента, а в Приложении 2 — пример простейшего эксперимента, предназначенного для тестирования наличия связи между PXLab и айтрекером.

## Литература

- Ананьева К.И., Басюл И.А., Харитонов А.Н. Координация взоров участников парного эксперимента и успешность решения перцептивно-коммуникативной задачи // Айтрекинг в психологической науке и практике / Под ред. В.А. Барабаничикова. М.: Когито-Центр, 2015. С. 340 – 344.
- Барабаничиков В.А., Жегалло А.В., Королькова О.А. Перцептивная категоризация выражений лица. М.: Когито-Центр, 2016.
- Бессонова Ю.В., Обознов А.А., Лобанова Л.А. Использование айтрекинга для диагностики мотивации личности // Айтрекинг в психологической науке и практике. М.: Когито-Центр, 2015. С. 147 – 157.
- Жегалло А.В. Специфика содержания зрительных фиксаций при опознании эмоциональных экспрессий по выражению лица // Айтрекинг в психологической науке и практике / Под ред. В.А. Барабаничикова. М.: Когито-Центр, 2015. С. 240 – 255.
- Жегалло А.В., Хозе Е.Г. Движение глаз при оценке лица, передающего достоверную и недостоверную информацию // Айтрекинг в психологической науке и практике. М.: Когито-Центр, 2015. С. 256 – 259.
- Жердев И.Ю., Барабаничиков В.А. Аппаратно-программный комплекс для исследований зрительного восприятия сложных изображений во время саккадических движений глаз человека // Экспериментальная психология. 2014. Т. 7. №1. С. 123 – 137.
- Мармалюк П.А., Жегалло А.В., Юрьев Г.А., Панфилова А.С. Принципы построения программного обеспечения с открытым исходным кодом для анализа результатов окулографических исследований // Экспериментальная психология. 2015. Т. 8. №1. С. 127 – 144.
- Ярбус А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965.
- Irtel H. PXLab: The Psychological Experiments Laboratory [online]. Version 2.1.11. Mannheim, Germany: University of Mannheim, 2007.
- iView X System Manual. Version 2.8. SensoMotoric Instruments GmbH, 2011.
- Koltunova T.I., Podladchikova L.N. Distractor effect at initial stages of recognition depends on visual image properties // Journal of Integrative Neuroscience. 2013. Vol. 12. No.1. P. 91 – 101. doi:10.1142/S021963521350009X
- Langner O., Dotsch R., Bijlstra G., Wigboldus D.H., Hawk S.T., van Knippenberg A. Presentation and validation of the Radboud Faces Database // Cognition and Emotion. 2010. Vol. 24. No.8. P. 1377 – 1388. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02699930903485076>. doi:10.1080/02699930903485076
- Pearce J.W. PsychoPy—psychophysics software in Python // Journal of Neuroscience Methods. 2007. Vol. 162. No.1. P. 8 – 13. doi:10.1016/j.jneumeth.2006.11.017
- Voßkübler A., Nordmeier V., Kuchinke L., Jacobs A.M. OGAMA — OpenGazeAndMouseAnalyzer: Open source software designed to analyze eye and mouse movements in slideshow study designs // Behavior Research Methods. 2008. Vol. 40. No.4. P. 1150 – 1162. doi:10.3758/BRM.40.4.1150
- Zhegallo A.V., Marmalyuk P.A. ETRAN — R extension package for Eye Tracking Results Analysis // Perception. 2015. Vol. 44. No.8-9. P. 1129 – 1135. doi:10.1177/0301006615594944

<sup>3</sup> Реализация данного эксперимента принципиально не отличается от рассмотренного в статье примера, но в качестве стимульного материала в нем используются фотоизображения лиц натурщиков из базы RaFD (Langer et al, 2010). Лицензионные ограничения на данные изображения не допускают их свободного распространения, что затрудняет воспроизведение данного исследования.

## Приложение 1. Справочная информация по ПО PXLab, описывающая классы, использованные при реализации демонстрационного эксперимента

Настоящее приложение основывается на фрагментарном переводе материалов, содержащихся в PXLab manual (<http://irtel.uni-mannheim.de/pxlab/doc/manual/>) и PXLab API reference (<http://irtel.uni-mannheim.de/pxlab/doc/api/>).

Класс **Display**. Используемые в эксперименте стимулы представляют собой последовательность объектов, класс которых является производным от класса Display. С классом Display связан список параметров, определяющих специфику отображения объектов. Данные параметры доступны для всех классов, производных от класса Display.

### Параметры класса Display

**Duration** — задает продолжительность отображения в миллисекундах.

**Execute** — по умолчанию устанавливается значение Execute=1, что разрешает выполнение кода соответствующего объекта и его отображение.

**JustInTime** — управляет моментом времени, когда вычисляются свойства отображаемого объекта. Если значение параметра true (не равно 0), свойства вычисляются непосредственно перед отображением объекта. Если значение параметра false (равно 0), то свойства объекта вычисляются заранее.

**Overlay** — каждый отображаемый объект имеет фоновый элемент, перекрывающий весь экран. В результате одновременное отображение нескольких объектов оказывается невозможным. Параметр Overlay = de.pxlab.pxl.OverlayCodes.JOIN указывает, что фон отображать не следует. При этом ранее отображавшийся объект остается видимым.

**ResponseChar** — код клавиши ответа, остановившей отображение объекта.

**ResponseCode** — код, формируемый по окончании отображения объекта.

**ResponsePosition** — позиция указателя «мыши» в момент, когда зафиксирован ответ, данный с помощью «мыши».

**ResponseSet** — список допустимых кодов ответа, завершающих предъявление объекта.

**ResponseTime** — фактическая продолжительность предъявления (в миллисекундах).

**Screen** — код выбора экрана. Используется в случае, когда объект должен показываться на многоэкранной системе.

**TimeControl** — фактический момент времени с начала проведения эксперимента, когда начато предъявление (в миллисекундах).

**TimeError** — возвращает ошибку тайминга для объектов, которые должны отображаться заданное время (для таймера установлен флаг CLOCK\_TIMER).

**Timer** — определяет тип таймера, управляющего продолжительностью отображения объекта. Итоговое значение таймера определяется комбинацией отдельных битов.

NO\_TIMER\_BIT — не использовать таймер.

CLOCK\_TIMER\_BIT — контролировать время отображения.

MOUSE\_BUTTON\_RESPONSE\_BIT — использовать нажатие клавиши «мыши» как таймер.

KEY\_TIMER\_BIT — использовать нажатие клавиатуры как таймер.

STOP\_KEY\_TIMER\_BIT — используется для регистрации повторных нажатий клавиатуры, клавиша, определяемая глобальным параметром StopKey используется для завершения экспозиции.

XBUTTON\_TIMER\_BIT — в качестве таймера используется нажатие клавиши на внешнем регистрирующем устройстве, подключенном к управляющей линии последовательного порта. DOWN\_TIMER\_BIT — указывает, что в качестве таймера используется нажатие кнопки или клавиши.

UP\_TIMER\_BIT — указывает, что в качестве таймера используется отпускание кнопки или клавиши.

MOUSE\_TRACKING\_TIMER\_BIT — указывает, что в качестве таймера используется перемещение «мыши».

STORE\_TIMER\_BIT — указывает, что результаты выполнения таймера должны сохраняться во внешних параметрах.

START\_RESPONSE\_TIMER\_BIT — используется для задания интервалов ответа, превышающих время отображения одного объекта. Указывает, что начало измерения интервала запускается со стартом таймера.

STOP\_RESPONSE\_TIMER\_BIT — используется для задания интервалов ответа, превышающих время отображения одного объекта. Указывает, что измерение интервала завершается по окончании работы таймера.

VIDEO\_SYNCHRONIZATION\_BIT — запуск таймера должен синхронизироваться с началом очередного интервала вертикальной видеоразвертки.

WATCH\_SPURIOUS\_RESPONSES\_BIT — ложные ответы, зафиксированные за время работы таймера, должны фиксироваться.

SERIAL\_LINE\_TIMER\_BIT — ожидается последовательность символов с активированного последовательного порта. Последовательность должна завершаться нажатием клавиши ВВОД.

VOICE\_KEY\_TIMER\_BIT — используется для задания таймера, работающего по «голосовой клавише», активируемой микрофоном.

SYNC\_TO\_MEDIA\_TIMER\_BIT — используется для задания времени ожидания при проигрывании медиафайла.

END\_OF\_MEDIA\_TIMER\_BIT — таймер завершается по окончании проигрывания медиафайла.

Для упрощения работы с таймером наиболее употребительные комбинации битов таймера получили собственные обозначения.

**NO\_TIMER** — код, указывающий не использовать таймер. Используется на практике для одно-временного отображения нескольких объектов. В таком случае для всех объектов кроме последнего значение таймера должно быть **NO\_TIMER**; для всех объектов кроме первого должен быть установлен параметр `Overlay = JOIN`.

**CLOCK\_TIMER** — таймер с фиксированным временным интервалом. Результаты выполнения сохраняются.

**RAW\_CLOCK\_TIMER** — таймер с фиксированным временным интервалом. Результаты выполнения не сохраняются.

**VS\_CLOCK\_TIMER** — таймер с фиксированным временным интервалом, запускается в момент начала очередного цикла вертикальной видеоразвертки.

**WATCHING\_CLOCK\_TIMER** — таймер с фиксированным временным интервалом. Во время работы таймера запоминаются коды и моменты срабатывания кнопок.

**KEY\_RESPONSE\_TIMER** — таймер, использующий нажатие клавиатуры для завершения. Сохраняются код и время нажатия.

**RELEASE\_KEY\_RESPONSE\_TIMER** — таймер, использующий отпускание кнопки клавиатуры для завершения. Сохраняются код кнопки и время отпускания.

**RESPONSE\_TIMER** — таймер, использующий для завершения нажатие «мыши», клавиатуры или кнопки внешнего устройства. Сохраняются код кнопки и время нажатия.

**VS\_RESPONSE\_TIMER** — таймер, использующий для завершения нажатие «мыши», клавиатуры или кнопки внешнего устройства. Сохраняются код кнопки и время нажатия. Запуск таймера синхронизируется с началом очередного цикла вертикальной видеоразвертки.

**RELEASE\_RESPONSE\_TIMER** — таймер, использующий для завершения отпускание «мыши», клавиатуры или кнопки внешнего устройства. Сохраняются код кнопки и время отпускания.

**LIMITED\_RESPONSE\_TIMER** — продолжительность определяется либо действиями испытуемого, также как для **RESPONSE\_TIMER**, либо заданным временным интервалом, в зависимости от того, какое событие наступит раньше. Сохраняются код и время работы.

**GO\_TIMER** — продолжительность определяется действиями испытуемого. Результаты не сохраняются.

**LIMITED\_GO\_TIMER** — продолжительность определяется действиями испытуемого либо заданным временным интервалом. Результаты не сохраняются.

**MOUSE\_TRACKING\_TIMER** — таймер непрерывно контролирует положение «мыши». Завершение по отпусканию кнопки «мыши».

**STOP\_KEY\_TIMER** — завершается по нажатии заранее определенной кнопки `StopKey`. Сохраняются код и время работы.

**MOUSE\_TRACKING\_STOP\_KEY\_TIMER** — комбинация **MOUSE\_TRACKING\_TIMER** и **STOP\_KEY\_TIMER**.

**MOUSE\_TRACKING\_KEY\_TIMER** — комбинация **MOUSE\_TRACKING\_TIMER** и **KEY\_RESPONSE\_TIMER**.

**MOUSE\_TRACKING\_RELEASE\_KEY\_TIMER** — комбинация **MOUSE\_TRACKING\_TIMER** и **RELEASE\_KEY\_RESPONSE\_TIMER**.

**SERIAL\_LINE\_INPUT\_TIMER** — таймер ожидает ввода из последовательного порта. Ввод должен завершиться кодом `<CR>`. Полученная строка сохраняется в поле `ResponseCode`.

**VOICE\_KEY\_TIMER** — таймер срабатывает по нажатии «голосовой клавиши».

**START\_RESPONSE\_TIMER** — используется для задания интервалов ответа, включающих более одного отображаемого объекта. Указывает, что при запуске таймера начинается измерение времени ответа.

**STOP\_RESPONSE\_TIMER** — используется для задания интервалов ответа, включающих более одного отображаемого объекта. Указывает, что при запуске таймера завершается измерение времени ответа.

**END\_OF\_MEDIA\_TIMER** — используется для ожидания завершения проигрывания или записи медиафайла.

**WATCHING\_END\_OF\_MEDIA\_TIMER** — используется для ожидания завершения проигрывания или записи медиафайла с фиксацией действий испытуемого в процессе действия.

**SYNC\_TO\_MEDIA\_TIMER** — используется для синхронизации с медиаобъектом. В ходе проигрывания или записи должно быть достигнуто заданное время.

Класс **FontDisplay** — производный от класса **Display**. Определяет свойства объектов, связанные с отображением шрифтов. Непосредственно при описании экспериментов не используется.

### Параметры класса FontDisplay

**Color** — цвет отображаемого текста.

**FontFamily** — используемое семейство шрифтов.

**FontSize** — размер шрифта.

**FontStyle** — стиль шрифта.

Класс **TextDisplay** — производный от класса **FontDisplay**. Определяет свойства объектов, связанные с отображением текста. Непосредственно при описании экспериментов не используется.

### Параметры класса TextDisplay

**LocationX** — горизонтальная позиция текста.

**LocationY** — вертикальная позиция текста.

**ReferencePoint** — Референсная точка, для которой задаются X и Y координаты. Допустимые значения: **BASE\_CENTER**, **BASE\_LEFT**, **BASE\_RIGHT**, **MIDDLE\_CENTER**, **MIDDLE\_LEFT**, **MIDDLE\_RIGHT**, **TOP\_CENTER**,

TOP\_LEFT, TOP\_RIGHT. По умолчанию: BASE\_LEFT.

Text — отображаемый текст.

Класс **TextParagraph** — производный от класса TextDisplay. Определяет отображаемый на экране параграф текста. Контролируются выравнивание, ширина текста, расстояние между строками. Текст может быть принудительно разбит на отдельные строки, длина которых не превышает заданной.

### Параметры класса TextParagraph

Alignment — выравнивание текста внутри параграфа.

EmphasizeFirstLine — выделение первой строки текста.

LineSkipFactor — расстояние между строками.

Width — ширина параграфа.

Wrapping — автоматическое разбиение текста на отдельные строки.

Класс **Message** — производный от класса TextParagraph. Отображает на экране текст по центру экрана. В отличие от TextParagraph ориентирован на отображение одной строки текста. Несколько строк или строка, разделенная символом перевода ('\\n'), отображаются с выравниванием по центру экрана. Вертикальная позиция при этом соответствует нижней строке текста.

Класс **FixationMark** — производный от класса Display. Отображает на экране фиксационную метку.

### Параметры класса FixationMark

Color — цвет метки.

EnclosedHeight — высота прямоугольника, обрамляемого метками, в случае метки типа CORNER\_MARKS.

EnclosedWidth — ширина прямоугольника, обрамляемого метками, в случае метки типа CORNER\_MARKS.

LineWidth — толщина линий.

LocationX — горизонтальная позиция центра метки.

LocationY — вертикальная позиция центра метки.

Size — горизонтальный и вертикальный размеры метки.

Type — тип фиксационной метки.

CORNER\_MARKS — метки по углам заданного прямоугольника.

FIXATION\_CROSS — фиксационный крест.

FIXATION\_DOT — фиксационная точка.

NO\_FIXATION — не показывать фиксационную метку.

Класс **Picture** — производный от класса Display. Отображает на экране изображение, содержащееся в файле.

### Параметры класса Picture

ClearFileBaseOnRecompute — в документации описание отсутствует. Очистка содержимого перед перезагрузкой изображения.

Color — в документации описание отсутствует. Цвет, используемый для первоначальной инициализации изображения.

Directory — папка, в которой содержится изображение.

FileName — название файла с изображением.

Height — высота изображения в формате scalable vector graphics (SVG).

Histogram — в документации описание отсутствует. При установке параметра в true в консоль во время инициализации эксперимента выдается отладочная информация об изображении.

LocationX — горизонтальная позиция изображения.

LocationY — вертикальная позиция изображения.

ReferencePoint — Референсная точка, для которой задаются X и Y координаты. Допустимые значения: BASE\_CENTER, BASE\_LEFT, BASE\_RIGHT, MIDDLE\_CENTER, MIDDLE\_LEFT, MIDDLE\_RIGHT, TOP\_CENTER, TOP\_LEFT, TOP\_RIGHT. По умолчанию MIDDLE\_CENTER.

Width — ширина изображения в формате scalable vector graphics (SVG).

Класс **ClearScreen** — производный от класса Display. Отображает пустой экран.

Класс **MultipleChoiceQuestion** — производный от класса TextParagraph. Отображает список выбираемых вариантов.

BulletSize — размер маркера, отмечающего выбираемые варианты.

Choices — массив строк, задающих альтернативные варианты выбора.

DisableNonSelection — если параметр установлен, то в момент выбора должен быть отмечен по крайней мере один из вариантов.

Indent — в документации указано «choice alternatives indentation». Установка различных значений параметра не приводит к изменениям отображаемого объекта.

ParSkip — расстояние между отображаемыми вариантами по вертикали.

Selection — список выбранных вариантов.

SelectionColor — цвет, используемый для выделения выбранного варианта.

Unique — флаг, указывающий, что только один из альтернативных вариантов может быть выбран.

## Приложение 2. Минимальный айтрекинг-эксперимент, тестирующий наличие связи с оборудованием

Недостатком реализованной схемы взаимодействия с айтрекером является однонаправленный характер взаимодействия. Управляющие пакеты посылаются ПО PXLab, контролирующим ход эксперимента, и принимаются управляющим ПО айтрекера. Обратная связь, обеспечивающая контроль состояния айтрекера, не реализована. В результате эксперимент может выполняться в отсутствии фактической связи с айтрекером. От оператора требуется вручную контролировать подключение оборудования и соответствие IP-адреса и порта, через которые происходит коммуникация.

Для проверки нормального функционирования связи можно использовать приведенный далее простейший тестовый эксперимент, содержащий единственную тестовую экспериментальную ситуацию. В ходе выполнения сценария иницируется запись движений глаз, отсылается единственная отметка о выполнении экспериментальной ситуации, останавливается запись и выполняется сохранение файла с данными. При наличии связи с айтрекером в результате выполнения эксперимента в целевой папке, задаваемой параметром `UdpMsg` в подразделе `SendUDP:save`, должен появиться файл с расширением `.idf`, содержащий результаты регистрации движений глаз.

```
Experiment() {
    Context() {
        AssignmentGroup() {
            ExperimentName = "Eyetracking
connection test";
            SkipBouncingBlockDisplays = 0;
            DataFileTrialFormat =
"%SubjectCode%";
            new iViewHost = "127.0.0.1";
            new iViewPort = 4444;
            ScreenBackgroundColor = lightGray();
        }

        Block() {
            TextParagraph() {
                Timer = RESPONSE_TIMER;
                ResponseSet = SPACE_KEY;
                Color=black();
                Alignment = de.pxlab.px1.
AlignmentCodes.CENTER;
                Text = ["Нажмите <<ПРОБЕЛ>>
для запуска теста"];
            }
            SendUDP:start_record() {
                Timer = NO_TIMER;
                UdpHost = iViewHost;
                UdpPort = iViewPort;
                UdpMsg = "ET_REC\n";
            }
        }
    }
}
```

```
BlockEnd() {
    SendUDP:stop() {
        Timer = NO_TIMER;
        UdpHost = iViewHost;
        UdpPort = iViewPort;
        UdpMsg = "ET_STP\n";
    }

    SendUDP:save() {
        Timer = NO_TIMER;
        UdpHost = iViewHost;
        UdpPort = iViewPort;
        UdpMsg = "ET_SAV C:\\Zhegs\\ET\\
SMI_%SubjectCode%.idf\n";
    }
    Message() {
        Timer = CLOCK_TIMER|RESPONSE_
TIMER;

        ResponseSet = SPACE_KEY;
        FontSize = 60;
        Alignment = CENTER;
        Color=black();
        Duration = 5000;
        Text = ["Тест закончен"];
    }
}

Trial() {
    SendUDP:fixpoint() {
        Timer = NO_TIMER;
        UdpHost = iViewHost;
        UdpPort = iViewPort;
        UdpMsg = "ET_REM fix.bmp\n";
    }
    AssignmentGroup();
}

Procedure() {
    Session() {
        Block() {
            Trial();
        }
    }
}
```

## software and equipment

# PXLab Software as an Instrument for Eye-Tracking Research Using SMI Eye Trackers

Alexander Zhegallo

Institute of Psychology RAS, Moscow, Russia

**Abstract.** PXLab software is an open source tool for the automated presentation of stimuli images and text as well as the recording of responses in psychological research. We present a modified version of the PXLab software that can be used as a tool for eye-tracking experiments with SensoMotoric Instruments (SMI) systems. This paper describes the features of the modified software and implementation of the automated recording of eye-tracking responses. A detailed, example-based tutorial is provided. The modified version of PXLab and examples are available on <https://sites.google.com/site/azhegallo/main/pxlab>.

**Correspondence:** Alexander Zhegallo, [zhegs@mail.ru](mailto:zhegs@mail.ru); Yaroslavskaya str., 13, Institute of Psychology RAS, 129366 Moscow, Russia

**Keywords:** eye-tracking, eye movements, experimental psychology

**Copyright** © 2016. Alexander Zhegallo. 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.** This study is supported by FASO Russia, № 0159-2016-0004.

Received 16 March 2016, accepted 28 September 2016.

## References

- Anan'eva, K.I., Basyul, I.A., & Kharitonov, A.N. (2015). Koordinatsiya vzorov uchastnikov parnogo eksperimenta i uspeshnost' resheniya pertseptivno-kommunikativnoy zadachi [Gaze coordination and performance in cognitive and communicative task in participants of dyadic experiment]. In V.A. Barabanshchikov (Ed.), *Aitreaking v psikhologicheskoi nauke i praktike [Eyetracking in psychological science and practice]* (pp. 340–344). Moscow: Kogito-Centr Publ. (In Russian).
- Barabanshchikov, V.A., Zhegallo, A.V., & Korolkova, O.A. (2016). *Pertseptivnaya kategorizatsia vyrazhenij litsa [Perceptual categorization of facial expressions]*. Moscow: Kogito-Centr Publ. (In Russian).
- Bessonova, Y.V., Oboznov, A.A., & Lobanova, L.A. (2015). Ispol'zovanie aytreakinga dlya diagnostiki motivatsii lichnosti [Using eye-tracking for assessment of motivation]. In V.A. Barabanshchikov (Ed.), *Aitreaking v psikhologicheskoi nauke i praktike [Eyetracking in psychological science and practice]* (pp. 147–157). M.: Kogito-Centr Publ. (In Russian).
- Irtel, H. (2007). *PXLab: The Psychological Experiments Laboratory [online]*. Version 2.1.11. Mannheim, Germany: University of Mannheim.
- iView X System Manual. Version 2.8.. SensoMotoric Instruments GmbH.
- Koltunova, T.I., & Podladchikova, L.N. (2013). Distractor effect at initial stages of recognition depends on visual image properties. *Journal of Integrative Neuroscience*, 12(1), 91–101. doi:10.1142/S021963521350009X
- Langner, O., Dotsch, R., Bijlstra, G., Wigboldus, D.H., Hawk, S.T., & van Knippenberg, A. (2010). Presentation and validation of the Radboud Faces Database. *Cognition and Emotion*, 24(8), 1377–1388. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02699930903485076>. doi:10.1080/02699930903485076
- Marmalyuk, P.A., Zhegallo, A.V., Yuryev, G.A., & Panfilova, A.S. (2015). Principles of construction of open-source software for oculography data analysis. *Experimental Psychology (Russia)*, 8(1), 127–144. (In Russian).
- Peirce, J.W. (2007). PsychoPy—psychophysics software in Python. *Journal of Neuroscience Methods*, 162(1), 8–13. doi:10.1016/j.jneumeth.2006.11.017
- Voßkübler, A., Nordmeier, V., Kuchinke, L., & Jacobs, A.M. (2008). OGAMA — OpenGazeAndMouseAnalyzer: Open source software designed to analyze eye and mouse movements in slideshow study designs. *Behavior Research Methods*, 40(4), 1150–1162. doi:10.3758/BRM.40.4.1150
- Yarbus, A.L. (1967). *Eye movements and vision*. New York: Plenum Press. doi:10.1007/978-1-4899-5379-7

- Zhegallo, A.V. (2015). Spetsifika sodержaniya zritel'nykh fiksatsiy pri opoznanii emotsional'nykh ekspressiy po vyrazheniyu litsa [Specifics of fixation content in identification of emotional facial expressions]. In V.A. Barabanshikov (Ed.), *Aitreking v psikhologicheskoi nauke i praktike [Eyetracking in psychological science and practice]* (pp. 240–255). M.: Kogito-Centr Publ. (In Russian).
- Zhegallo, A.V., & Khoze, E.G. (2015). Dvizhenie glaz pri otsenke litsa, peredayushchego dostovernuyu i nedostovernuyu informatsiyu [Eye movements in perception of faces communicating true or false statements]. In V.A. Barabanshikov (Ed.), *Aitreking v psikhologicheskoi nauke i praktike [Eyetracking in psychological science and practice]* (pp. 256–259). M.: Kogito-Centr Publ. (In Russian).
- Zhegallo, A.V., & Marmalyuk, P.A. (2015). ETRAN — R extension package for Eye Tracking Results Analysis. *Perception*, 44(8-9), 1129–1135. [doi:10.1177/0301006615594944](https://doi.org/10.1177/0301006615594944)
- Zherdev, I.Y., & Barabanshchikov, V.A. (2014). Hardware-software system for study of complex images' visual perception during saccadic eye movements in man. *Experimental Psychology (Russia)*, 7(1), 123–137. (In Russian).

## ■ обзор литературы ■

# Зрительная рабочая память: методы, исследования, теории

**Игорь С. Уточкин**

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

**Мария А. Юревич**

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

**Мария Е. Булатова**

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

**Аннотация.** В обзоре рассматриваются исследования зрительной подсистемы рабочей памяти (ЗРП), выполненные преимущественно в последние 15–20 лет. Дается описание методов исследования ЗРП с подробным разбором двух методов, направленных на измерение объема и точности ЗРП (раздел 2). Это наиболее распространенные в современной исследовательской практике методы обнаружения изменений и градуального отчета (в том числе модификация с использованием моделей смещения). Рассматриваются вопросы организации структурных единиц ЗРП при кодировании и хранении, в частности путем связывания независимых признаков и сжатия информации о нескольких объектах в форме статистической репрезентации ансамбля (раздел 3). Описываются теории, объясняющие природу ограничений ЗРП: структурные (ячеечные), ресурсные, их гибриды (теории «ячейки+ресурсы»), а также недавно сформулированная теория иерархического кодирования (раздел 4). Приводятся взгляды на механизмы забывания в ЗРП (раздел 5). Наконец, разбираются нейронные корреляты кодирования и хранения в ЗРП, а также обсуждаются нейрофизиологические модели ЗРП, построенные на вышеуказанных теориях (раздел 6).

**Контактная информация:** Игорь С. Уточкин (автор-корреспондент), [isutochkin@inbox.ru](mailto:isutochkin@inbox.ru); 109316, Москва, Волгоградский пр-т, д. 46Б; Мария А. Юревич, [yurevichm@yandex.ru](mailto:yurevichm@yandex.ru); Мария Е. Булатова, [bulatovamaria@yandex.ru](mailto:bulatovamaria@yandex.ru).

**Ключевые слова:** рабочая память, зрительная рабочая память, объем рабочей памяти, репрезентации, структурные единицы, связывание признаков

© 2016 Игорь С. Уточкин, Мария А. Юревич, Мария Е. Булатова. Данная статья доступна по лицензии [Creative Commons “Attribution”](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) («Атрибуция») 4.0. всемирная, 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.** Исследование поддержано грантом РФФИ №15-06-07514.

Статья поступила в редакцию 26 июля 2016 г. Принята в печать 27 сентября 2016 г.

## 1. Зрительная рабочая память в рамках общих представлений о рабочей памяти

Воспринимаемый нами мир наполнен объектами, с которыми происходит множество динамических событий и в отношении которых мы осуществляем определенные действия. Мы можем представить его как последовательность зрительных стимулов, которые

отображаются на рецепторных поверхностях органов чувств. Оперировать детальной и избыточной информацией, поступающей для анализа, и принимать на ее основе решения нам помогает *рабочая память* (далее — РП), представляющая собой систему, позволяющую удерживать ограниченный объем релевантной информации в активном и непосредственно доступном для анализа и управления действием состоянии. РП имеет важнейшее значение для функционирования всей когнитивной системы и системы управления

действиями. Ее характеристики (в первую очередь объемом) коррелируют с уровнем общего интеллекта, способностью к обучению и качеством восприятия информации при чтении (Baddeley, 1986). Этот вывод поддержан современными теоретическими представлениями о РП, трактующими ее как временное хранилище информации, принимающее участие в мышлении человека и являющееся связующим звеном между системами восприятия, долговременной памяти и действия (там же).

Понятие «рабочая память» было впервые предложено Дж. Миллером, Ю. Галантером и К. Прибрамом (Miller et al., 1960), а затем серьезно разработано А. Бэддели и Г. Хитчем (Baddeley, Hitch, 1974). Исследователи подчеркивали, что, в сравнении с кратковременной памятью, которая исполняет лишь функцию хранения информации, рабочая память является многокомпонентной системой, несущей функцию хранения и активной обработки поступающих стимулов, а также играющей функциональную роль в осуществлении когнитивных процессов, таких как мышление, понимание и научение.

Помимо активного характера обработки информации, по классической модели А. Бэддели и Г. Хитча, отличительной особенностью РП является ее внутреннее деление на три подчиненные системы<sup>1</sup>: фонологическую петлю, или вербальную рабочую память (далее — ВРП), зрительную рабочую память (далее — ЗРП) и центральный управляющий блок. ВРП и ЗРП являются относительно независимыми хранилищами информации, с сильными связями внутри подсистем и более слабыми — между собой, с долговременной памятью и с восприятием. Тем не менее, в более поздних работах появилось представление о том, что и сама ЗРП не является монолитной подсистемой. Так, согласно ряду авторов (например, Smith et al., 1995), внутри ЗРП иногда выделяют подсистему, репрезентирующую пространственную компоновку сцены (пространственная ЗРП), а также подсистему, содержащую данные о наборе простых характеристик объекта (объектная ЗРП).

Исторически более ранними можно считать исследования ВРП, поскольку исследования кратковременной памяти в рамках двухкомпонентной модели проводились на вербальном материале, кодирование связывалось с языковыми и мыслительными функциями. Интерес к ЗРП возник после экспериментов М. Познера и Э. Коника (Posner, Konick, 1966), которые показали возможность удерживания воспоминания о местоположении точки на линии свыше 30 секунд, с последующим прерыванием при восприятии новой информации. Интерпретируя результаты, авторы предположили существование в ЗРП процесса внутреннего повторения, аналогичного повторению в ВРП.

В современной когнитивной психологии можно выделить несколько фокусов исследования, или подходов к изучению ЗРП, которые выводят на первый план либо роль внимания и волевого контроля

в функционировании ЗРП, либо моделирование и описание структур системы ЗРП (ячейки, ресурсы, иерархическая система), или же концентрируются на роли индивидуальных различий в функционировании отдельных компонентов ЗРП.

## 2. Методы изучения зрительной рабочей памяти

### 2.1. Особенности методов изучения ЗРП по сравнению с ВРП

Методология изучения вербальной кратковременной, а затем и рабочей памяти исторически сложилась раньше, чем аналогичная методология для изучения ЗРП. Традиционно она основана на последовательном предъявлении в определенном темпе зрительных и слуховых, как правило хорошо вербализуемых стимулов — букв, цифр, слов, бессмысленных слогов, — о которых испытуемый должен дать отчет спустя некоторое время после предъявления. Отчет дается либо в форме полного воспроизведения (recall), либо в форме частичного отчета (partial recall) о зондовом стимуле, который предъявляется в конце. От испытуемого требуется сообщить о наличии/отсутствии в запомненном наборе, о его позиции или других признаках. Одним из наиболее часто используемых в современной исследовательской и диагностической практике методом подобного рода является методика “n-back” (Kane et al., 2007). Задача испытуемого при тестировании этим методом состоит в том, чтобы отслеживать последовательно предъявляемые зрительно или на слух стимулы и определять, является ли текущий стимул повторением стимула, предъявленного на n позиций раньше (например, n = 1 означает, что испытуемый должен сравнивать текущий стимул с предыдущим). По тому, как меняется точность ответов в зависимости от позиции n, можно судить об ограничениях ВРП.

Однако методы, основанные на последовательном предъявлении, не получили столь широкого распространения в исследованиях ЗРП. Возможно, это связано с тем, что последовательный способ предъявления хорошо соотносится с вербальным кодированием в слуховой модальности и речевым отчетом, что свойственно скорее ВРП. Напротив, для ЗРП более естественным представляется скорее симультанное кодирование образа сцены — объектов и их пространственной компоновки. Более часто в экспериментах с ЗРП исследователи прибегают к использованию *одновременного предъявления*, при котором наблюдателю одновременно и, как правило, на очень непродолжительное время предъявляются все подлежащие запоминанию объекты, образующие сцену. Таким образом, наблюдателю необходимо запоминать сами объекты и их пространственное расположение. Это представляется более адекватным изучаемому предмету, поскольку не только использует более соответствующую зрительной модальности форму кодирования — симультанную и пространственную, — но и снижает возможность использования стратегий вербального

<sup>1</sup> В более позднем варианте своей модели А. Бэддели вводит четвертый блок — эпизодический буфер — интегрирующий информацию от ВРП, ЗРП и системы долговременной памяти (Baddeley, 2000).

кодирования в задачах на ЗРП. Предотвращение использования таких стратегий представляется важным, в противном случае результаты измерения собственно ЗРП будут искажены (например, оценка ее объема может оказаться преувеличенной).

Впрочем, проблема использования вербальных стратегий в задачах на ЗРП не всегда решается только одновременным и кратким предъявлением. Например, даже при предъявлении нескольких цветных объектов всего на 100 мс испытуемый может успеть про себя назвать цвета нескольких из них, сохранив эти названия в ВРП. Одним из способов минимизации вербального кодирования может быть использование трудно вербализуемых стимулов (например, сложных бессмысленных фигур). Однако более часто исследователи прибегают к использованию методического приема, известного под названием *артикуляторного подавления* (*articulatory suppression*). Испытуемого просят во время выполнения задачи на ЗРП произносить вслух одно и то же слово или бессмысленный слог или вести устный счет в темпе, навязанном экспериментатором. Предположительно, это делает невозможным мысленное проговаривание информации о зрительном стимуле. Опасностью использования артикуляторного подавления является то, что выполнение параллельной вербальной задачи является потенциально интерферирующей активностью, которая может ухудшать результаты теста на ЗРП. Однако в исследовании Э. Фогеля, Дж. Вудмана и С. Лака (Vogel et al., 2001) было показано, что использование артикуляторного подавления практически не влияет на результаты выполнения тестов, предположительно измеряющих ЗРП. Этот вывод также хорошо соотносится с классической моделью А. Бэддели и Г. Хитча (Baddeley, Hitch, 1974), утверждающей независимость зрительного и вербального блоков РП. Таким образом, артикуляторное подавление действительно может быть использовано в качестве методического приема для диссоциации ЗРП и ВРП в зрительных задачах.

## 2.2. Метод обнаружения изменений

Самым широко применяемым методом с одновременным предъявлением всех элементов зрительной сцены является методика *обнаружения изменений* (*change detection*), в современном виде впервые использованная в экспериментах С. Лака и Э. Фогеля (Luck, Vogel, 1997). Исследователи использовали вариант методики последовательного сравнения, первоначально разработанной У. Филлипсом (Phillips, 1974). В экспериментах С. Лака и Э. Фогеля, которые задали эталон методики обнаружения изменений, наблюдателю на короткое время (100 мс) предъявлялся набор, состоящий из 1–12 объектов (стимул-образец), после исчезновения которых наблюдателю требовалось в течение 900 мс удерживать информацию о наборе в памяти. По истечении этого времени набор предъявлялся повторно (стимул-тест) либо в неизменном виде, либо с изменением одного из объектов сцены (например, один из объектов мог поменять цвет). Наблюдателю необходимо было ответить, произошло изменение или нет. При-



**Рисунок 1.** Общий вид временной последовательности событий (слева направо) в стандартной пробе методики обнаружения изменений

мер организации пробы в методике обнаружения изменений представлен на рисунке 1.

Основным показателем, на измерение которого направлен метод обнаружения изменений, является *объем* (*capacity*) ЗРП. С. Лак и Э. Фогель предложили следующий простой критерий для установления предельного объема ЗРП. До тех пор, пока увеличение количества предъявляемых на экране элементов не приводит к увеличению количества ошибок (то есть процент правильных ответов близок к 100 или, по крайней мере, не отличается от условия с одним единственным объектом), мы предполагаем, что все эти элементы попадают в ЗРП. Как только процент ошибок начинает увеличиваться, это значит, что предельный объем ЗРП достигнут, то есть какие-то элементы с определенной вероятностью не удерживаются в памяти. Позднее Н. Коуэн (Cowan, 2001) развил идею С. Лака и Э. Фогеля и предложил собственный показатель, который позволяет не просто установить единичное значение предельного объема ЗРП, но и оценить, сколько в действительности элементов в среднем оказывается в ЗРП при любом количестве предъявленных объектов. Данный показатель основан на идее, что вероятность попадания тестируемого элемента в ЗРП (а значит, и вероятность правильного ответа) является функцией, с одной стороны, максимального объема ЗРП, а с другой — количества предъявленных элементов: чем сильнее количество предъявленных элементов превышает объем ЗРП, тем ниже вероятность правильного ответа. Поскольку количество предъявляемых элементов известно, а процент правильных ответов может быть измерен в ходе эксперимента, то вычисление объема ЗРП становится тривиальной задачей. Н. Коуэн предлагает следующее уравнение, получившее название *формулы Коуэна*:

$$K = n \times (p(H) - p(FA)),$$

где  $K$  — максимальный объем ЗРП,  $n$  — количество предъявленных элементов,  $p(H)$  — вероятность «попаданий» (то есть правильных ответов «да», когда изменение было),  $p(FA)$  — вероятность «ложных» тревог (то есть ошибочных ответов «да», когда изменения не было). Из данной формулы очевидно, что чем выше количество попаданий и чем ниже количество ложных тревог, тем ближе оценка объема ЗРП к количеству предъявленных элементов.

## 2.3. Метод градуального отчета

Несмотря на широкое распространение, метод обнаружения изменений имеет некоторые ограничения.

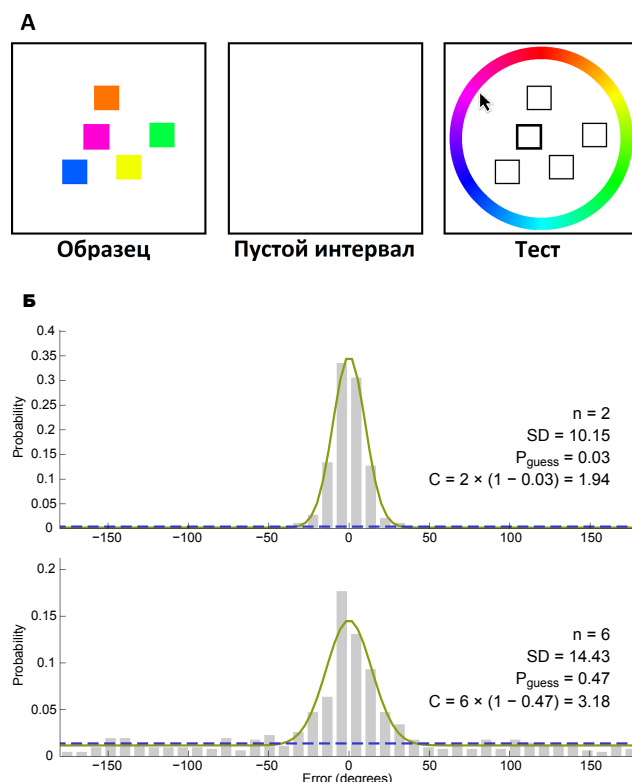
В частности, критики данного метода обращают внимание на следующую проблему: поскольку классический метод требует сравнения двух сцен — до и после периода удержания материала в ЗРП, то на решение о наличии/отсутствии изменений влияет непредсказуемая комбинация двух процессов — припоминания, основанного на *общем впечатлении от сцены (gist)*, и припоминания каждого отдельного объекта. Это может влиять на достоверность оценки объема ЗРП на отдельные объекты (Wilken, Ma, 2004).

Эту проблему позволяет решить другой метод, получивший в литературе название «*градуального отчета*» (*continuous report*), являющийся в действительности вариантом классического психофизического метода подравнивания (*adjustment*), или средней ошибки (*mean error*). Эта методика впервые была применена в исследовании П. Уилкена и В.-Дж. Ма (Wilken, Ma, 2004). Предложенная ими задача построена следующим образом: наблюдателю на короткое время предъявляется набор объектов (образец), количество которых варьируется так же, как в экспериментах по методике обнаружения изменений. После пустого интервала, следующего за исчезновением образца, испытуемому предъявляется схематичное изображение исходной сцены (тест), где все объекты занимают свои места, однако отсутствует информация об их целевых признаках. Например, если испытуемый должен запомнить цвета объектов, то на тестовом экране ему показываются лишь бесцветные контурные изображения. Один из объектов (цель) выделяется специальным образом (например, жирным контуром), указывая, что признак именно этого объекта испытуемый должен восстановить по памяти. Например, в задаче припоминания цвета испытуемый должен установить по памяти цветовой оттенок целевого объекта, кликая курсором мышки на цветовой круг, предъявляемый специально в момент отчета (рисунок 2А). Статистическая мера разброса (стандартное отклонение, *SD*) оценок испытуемого относительно правильного ответа (например, истинного оттенка целевого круга) отражает степень *точности (precision)*, или *надежности (fidelity)* репрезентации данного объекта, хранимого в ЗРП.

Метод градуального отчета, в отличие от задачи обнаружения изменений, позволяет избежать влияния процесса припоминания, основанного на общем впечатлении от сцены, и оценивать исключительно память собственно на отдельные объекты. Стоит заметить, что в случае совместного использования в исследовательской практике эти два теста могут очень неплохо взаимно дополнять друг друга, поскольку измеряют две разные характеристики ЗРП — объем и точность.

#### 2.4. Метод градуального отчета с моделью смещения

В дальнейшем В. Жань и С. Лак (Zhang, Luck, 2008), развивая метод градуального отчета, предложили альтернативный способ анализа полученных с его помощью данных, позволяющий разделять объем и точность ЗРП по распределению ответов. По мнению авторов, новый метод анализа является более корректным спо-



**Рисунок 2.** А) общий вид временной последовательности событий (слева направо) в стандартной пробе методики градуального отчета о цвете; Б) распределения ответов и основанные на них модели смещения для эксперимента с запоминанием двух (слева) и шести (справа) объектов (данные взяты из: Markov, Utchkin, 2016; графики плотности вероятностей и параметры модели получены с помощью Mem-Toolbox, Suchow et al., 2013)

собом оценки характеристик ЗРП, чем простой расчет стандартного отклонения ошибок, предложенный П. Уилкеном и В.-Дж. Ма (Wilken, Ma, 2004). Содержательная логика анализа основана на том, что испытуемый в ходе опыта по методу градуального отчета может демонстрировать два вида ошибок: 1) ошибку, связанную с не идеально точным хранением объекта, который все же присутствует в памяти, и 2) ошибку, связанную с попыткой дать отчет об объекте, который не был удержан в памяти. Эти два вида ошибок дают два качественно разных статистических распределения. Первый вид ошибки должен приводить к относительно компактной группировке ответов вокруг эталонного ответа. Например, если испытуемому был предъявлен объект красного цвета и он помнит этот цвет, то он будет выбирать ответ только среди оттенков красного, но не среди оттенков синего, зеленого или желтого. Таким образом, ответы данного вида формируют нормальное распределение<sup>2</sup> со средним, равным нулю (что соответствует отсутствию ошибки, то есть идеально точному воспроизведению эталона), и стандартным отклонением, характеризующим меру точности запоминания. Однако распределение ответов кардинально меняется в случае, когда испытуемый до-

<sup>2</sup> Поскольку в большинстве проводимых по методу градуального отчета экспериментов целевым признаком для запоминания является либо цветовой тон, либо пространственная ориентация — признаки, которые можно представить в виде кругового измерения, — то для анализа используется не классическое нормальное распределение, а его аналог для круговых случайных величин — распределение фон Мизеса.

пускает второй вид ошибок, связанный с отсутствием тестируемого элемента в памяти. В этом случае наиболее вероятной стратегией ответа будет стратегия случайного угадывания, при которой испытуемый с равной вероятностью может установить любое значение тестируемого признака в предлагаемом диапазоне ответа. Например, если предъявлен эталон красного цвета, но испытуемый этого не помнит, то он с одинаковой вероятностью может выбрать любой из оттенков красного, синего или любого другого цвета. Таким образом, накопленные в ходе эксперимента случайно выбранные ответы теоретически должны дать равномерную форму распределения.

Очевидно, что если испытуемый запоминает все предъявленные ему элементы, то он будет демонстрировать только ответы первого типа, и распределение его ответов будет соответствовать нормальному распределению; вероятно, это возможно только в том случае, если в ЗРП хоть в каком-то виде представлена информация обо всех предъявленных объектах. Однако, как показывают В. Жань и С. Лак (Zhang, Luck, 2008), при довольно большом количестве элементов (предположительно превышающем 3–4) испытуемые демонстрируют смешение двух типов ответов, что можно представить как равномерное распределение с возвышающимся над ним «колоколом» нормального распределения. Это значит, что в ходе эксперимента испытуемый в одних пробах успешно запоминал тестовый элемент и был способен о нем отчитаться с той или иной степенью точности, а в других пробах просто угадывал. Иными словами, часть элементов действительно сохраняется в ЗРП и с большей или меньшей погрешностью воспроизводится при тестировании, а часть элементов не сохраняется вовсе.

Однако если распределение ответов испытуемого представляет собой «смесь» успешных воспроизведений и случайных угадываний, то как можно количественно измерить характеристики ЗРП? Для этого В. Жань и С. Лак предлагают использовать *модель смешения (mixture model)* — статистический метод максимально правдоподобного разложения эмпирического распределения на компоненты более простых распределений — в данном случае на компоненты нормального и равномерного распределений (рисунок 2Б). В результате разложения для каждого из компонентов могут быть независимо оценены несколько параметров, информативных для оценки характеристик ЗРП. Для компонента нормального распределения рассчитываются 1) среднее  $\mu$ , которое показывает, есть ли систематический сдвиг в оценках целевого признака (как правило, в реальных экспериментах по запоминанию цвета или ориентации этот параметр оказывается равным нулю что указывает на отсутствие систематического сдвига) и 2) стандартное отклонение  $SD$ , характеризующее *точность* репрезентации элементов, присутствующих в ЗРП. Для компонента равномерного распределения рассчитывается показатель суммарной площади под линией функции плотности вероятности этого распределения, который эквивалентен вероятности случайного угадывания  $P_{\text{guess}}$  (рисунок 2Б). Отсюда нетрудно видеть, что  $(1 - P_{\text{guess}})$  — это вероятность неслучайного ответа, то есть вероятность запоминания

тестируемого элемента ( $P_m$ ). Таким образом, зная величину  $P_m$  и общее количество предъявленных объектов  $n$ , можно вычислить фактический объем ЗРП ( $C$ )<sup>3</sup> при данном  $n$ :

$$C = n \times P_m$$

На рисунке 2Б приведены примеры моделей смешения для наборов из двух и шести объектов (данные для моделирования взяты из: Markov, Utochkin, 2016). На графиках плотности вероятности пунктирная линия отделяет компонент равномерного распределения и компонент нормального распределения. Нетрудно видеть, что площадь первого компонента, соответствующая вероятности случайных угадываний, в случае шести объектов существенно выше ( $P_{\text{guess}} = .47$ ), чем в случае двух ( $P_{\text{guess}} = .03$ ). При подстановке в формулу для расчета объема ЗРП это дает оценку  $C = 3.18$  при шести объектах и  $C = 1.94$  при двух объектах. Это значит, что в моделируемом эксперименте из двух предъявленных объектов оба эффективно удерживались в ЗРП, в то время как из шести объектов в среднем удерживалось около трех. На рисунке можно также видеть, что показатели  $SD$ , рассчитанные для компонентов нормального распределения, составляют 10.15 в случае двух объектов и 14.43 в случае шести объектов, указывая на то, что репрезентации двух объектов более точны, чем репрезентации шести объектов (впрочем, учитывая показатель  $C$ , корректнее говорить о точности репрезентаций трех объектов, остающихся в ЗРП), хотя это различие и не разительное (Zhang, Luck, 2008).

Для реализации метода анализа параметров ЗРП, основанного на модели смешения, в настоящее время доступны пакеты для Matlab и R. Так, для пользователей Matlab доступно бесплатное приложение Memtoolbox (Suchow et al., 2013), в котором модель В. Жаня и С. Лака представлена в виде готового алгоритма, выдающего на выходе параметры  $\mu$ ,  $SD$  и  $P_{\text{guess}}$  (<http://visionlab.github.io/MemToolbox/>). Приведенные на рисунке 2Б модели получены с использованием MemToolbox. Пользователям R доступен пакет mixtools для построения настраиваемых моделей смешений, в котором требуемые компоненты — компонент нормального распределения и компонент равномерного распределения — задаются вручную (Benaglia et al., 2009, <https://cran.r-project.org/web/packages/mixtools/index.html>).

### 3. Объем ЗРП и организация ее структурных единиц

Наша способность удерживать информацию в ЗРП достаточно жестко ограничена. Начиная с первых предположений о максимальном количестве элементов, которые может удержать РП, посвященные ей исследования сфокусировались на понимании механизмов ограничений и единиц измерения ее объема. Сильные положительные корреляции индивидуальных разли-

<sup>3</sup> Мы используем здесь обозначение  $C$  (от англ. capacity) вместо ранее введенного  $K$ , для того чтобы отличать данный способ оценки объема ЗРП от «формулы Коуэна», прочно закрепившейся в литературе за обозначением  $K$ . Вместе с тем, содержательный смысл обоих показателей очень близок.

чий объема рабочей памяти и академических достижений (Alloway, Alloway, 2010; Fukuda et al., 2010) также пробуждают интерес к изучению определяющих факторов ограничений.

На протяжении достаточно долгого времени вопрос об ограничениях объема РП остается активно обсуждаемым. Автор одной из самых известных работ в данной области Дж. Миллер (Miller, 1956) выдвинул предположение о том, что объем кратковременной памяти ограничен «магическим числом» — семью элементами (плюс-минус два). Такое ограничение выявлялось во многих экспериментах, и Миллер шутливо заметил: «это число преследовало меня... иногда маскируясь и представляясь чуть меньшим или чуть большим, чем обычно, но никогда не становясь неузнаваемым» (Miller, 1956, p. 181). На основании имеющихся данных он также заключил, что ограничения объема возможно частично преодолеть путем организации информации в структурные единицы (*chunks*), то есть количество элементов, удерживаемых в рабочей памяти, остается неизменным, но фактическое количество запоминаемой информации может быть увеличено.

Однако в большом количестве работ после Дж. Миллера авторы демонстрировали более скромные оценки предельного объема кратковременного хранения. В своей известной обзорной работе Н. Коуэн (Cowan, 2001) суммирует многочисленные данные, полученные в разнообразных экспериментальных парадигмах, и приходит к выводу, что более корректно оценивать предельный объем РП как четыре элемента (плюс-минус один). При этом Н. Коуэн ссылается на результаты исследований как ВРП, так и ЗРП. По аналогии с «магическим числом» Миллера, новую уточненную оценку предельного объема РП (и ЗРП как одной из ее подсистем) стали называть «магическим числом» Коуэна.

### 3.1. Связывание в ЗРП

В качестве одной из наиболее естественных форм организации структурных единиц ЗРП, приводящей к более эффективному использованию ее ограниченного объема, рассматривается *связывание* (*binding*) независимых признаков (таких как цвет, размер, пространственная ориентация и пр.) в репрезентацию целостного объекта. Так, в одном из самых цитируемых исследований ЗРП С. Лак и Э. Фогель (Luck, Vogel, 1997), используя методику обнаружения изменений (см. параграф 2.2), показали, что количество отдельных признаков, удерживаемых в ЗРП, может быть существенно увеличено, если эти признаки «привязаны» к одним и тем же объектам. Например, испытуемые в их экспериментах были способны запомнить около 3–4 отдельных цветов, если каждый цвет принадлежал отдельному объекту; однако это количество практически удваивалось, когда два цвета встречались в одном объекте — например, сложном концентрическом квадрате, где внутренняя часть была окрашена в один цвет, а внешняя — в другой (однако противоположные результаты см. в: Wheeler, Treisman, 2002). Когда С. Лак и Э. Фогель варьировали до четырех независимых признаков объектов (цвет, ориентацию, длину, наличие/отсутствие разрыва посередине), испытуемые по-прежнему

обнаруживали изменение любого из них, если количество объектов было не более четырех — то есть эффективный объем ЗРП составлял уже около 16 признаков! При этом эффективность запоминания всех четырех признаков у четырех объектов (16 в сумме) была не ниже эффективности запоминания одного признака (например, только цвета) у каждого из четырех объектов (четыре признака в сумме), что указывает на практически автоматический и непреодолимый характер процесса связывания в ЗРП.

Однако в других работах было показано, что объем ЗРП на объекты не константен, как следует из представлений С. Лака и Э. Фогеля, а может сильно варьироваться в зависимости от типа объектов, подлежащих запоминанию. Например, Дж. Альварес и П. Каванах (Alvarez & Cavanagh, 2004) показали, что этот объем ограничен четырьмя-пятью элементами в случае простых объектов (например, цветных квадратов) и снижается до полутора-двух объектов при предъявлении более сложных объектов (например, иероглифы или многоугольники). Дж. Альварес и П. Каванах приводят два возможных объяснения такому расхождению. Во-первых, простейшие, базовые признаки (размер, ориентация, цвет) могут храниться отдельно, и в таком случае ограничения объема информации об одном признаке не будут мешать запоминанию информации о другом признаке того же объекта. Таким образом, объем памяти на сочетания таких базовых признаков будет примерно соответствовать объему памяти на отдельные признаки. Это также означает, что каждое хранилище может в реальности содержать признаки разных объектов, не обязательно связанных между собой. Например, при предъявлении шести объектов могут быть сохранены цвета от одной, а ориентации от другой половины, что при тестировании даст оценку объема ЗРП в три единицы как на признаки, так и на объекты. Действительно, как показали Д. Фунье и Дж. Альварес (Fougnie, Alvarez, 2011), тестирование памяти сразу на два признака одного и того же объекта (цвет и ориентацию) показывает, что точность воспроизведения одного признака не коррелирует с точностью воспроизведения другого. Во-вторых, возможно, что существует минимальный набор признаков, которые обрабатываются и кодируются всегда, вне зависимости от задачи, и увеличение количества таких признаков не выльется в увеличение информационной нагрузки на ЗРП, так как они уже были обработаны и удерживаются в памяти. При этом более сложные признаки, не входящие в минимальный набор, будут увеличивать нагрузку и приводить к ситуации, когда кодирование всех признаков для каждого объекта уменьшает количество запоминаемых объектов или, наоборот, когда при кодировании большого количества объектов не все признаки будут запоминаться одинаково хорошо.

Д. Фунье и коллеги (Fougnie et al., 2010) показали, что даже для простых и очевидно независимых признаков, таких как цвет и ориентация, связывание в ЗРП также имеет свои издержки. Используя метод градуального отчета с моделью смещения (см. параграф 2.4), они раздельно анализировали объем и точность ЗРП в задачах запоминания только цветов или

только ориентаций трех треугольников (отдельные признаки) и сравнивали с аналогичными показателями в задаче запоминания и цвета, и ориентации (сочетание признаков). Было обнаружено, что объем памяти на сочетания признаков не отличается от объема памяти на отдельные признаки, что в целом соответствует классическим результатам С. Лака и Э. Фогеля (Luck, Vogel, 1997). Однако точность репрезентаций и цвета, и ориентации каждого объекта в задаче на запоминание сочетания признаков была ниже, чем в задачах на запоминание отдельных признаков. Тем не менее, по результатам Д. Фунье и коллег, хранение признаков в связанной форме действительно имеет преимущества: испытуемые демонстрировали лучшие показатели объема и точности ЗРП, когда должны были запомнить цвета и ориентации трех объектов, чем когда их просили запомнить цвета трех объектов и ориентации еще трех объектов.

### 3.2. Сводная статистика ансамблей как форма сжатия единиц ЗРП

Еще одной эффективной стратегией, которая, вероятно, может использоваться для увеличения фактического объема ЗРП, может быть репрезентация множества объектов в виде набора *сводных статистик ансамблей* (*ensemble summary statistics*) — средних значений, стандартных отклонений, грубых оценок количества. Действительно, такие статистики могут быть довольно удобны для сохранения в ЗРП информации об объектах, количество которых превышает любые «магические числа». Например, вместо запоминания информации о двадцати размерах и двадцати местоположениях отдельных объектов (всего 40 индивидуальных параметров или, по крайней мере, 20 связанных пар) достаточно сохранить в памяти по одному набору сводных статистик для размера и позиции. Таким образом, даже не имея точной репрезентации для большинства из предъявленных объектов, наблюдатель может произвести не совсем случайную и довольно надежную оценку для любого из них, просто аппроксимировав среднее значение и скорректировав его на стандартное отклонение, которое дает правдоподобную оценку того, насколько индивидуальный объект может отличаться от среднего. Действительно, в многочисленных экспериментах показано, что сводные статистики ансамблей кодируются чрезвычайно эффективно при кратком предъявлении больших наборов объектов; при этом точная информация о каждом объекте в отдельности почти не извлекается и заменяется информацией о статистиках (Ariely, 2001; Parkes et al., 2001)<sup>4</sup>. Подобную стратегию организации структурных единиц ЗРП можно охарактеризовать как *сжатие* (*compression*). При такой стратегии информация о большом массиве данных (признаков индивидуальных объектов) на этапе кодирования заменяется более компактным сводным описанием; на этапе извлечения по этому компактному описанию производится восстановление информации об исходном массиве, хотя и с некоторой потерей качества.

<sup>4</sup> Более подробные обзоры исследований в области сводных статистик ансамблей см. в: Alvarez (2011); Haberman, Whitney (2012).

В экспериментах, в которых тестируется память на сводные статистики ансамблей, оценки ограничений объема ЗРП чаще всего не превышают двух элементов. Такие ограничения были получены в задачах на усреднение размера ансамблей: точное усреднение было возможно только в наборах с не более чем двумя ансамблями объектов (Attarha et al., 2014; Im, Chong, 2014), в задачах на оценку количества объектов в ансамбле была возможна точная оценка численности не более трех ансамблей, включающих в себя и «суперансамбль», то есть всю совокупность объектов, вне зависимости от деления на цветные подгруппы (Halberda et al., 2006), и в задачах на оценку численности с частичным отчетом (Poltoratski, Xu, 2013) — не более двух ансамблей. Таким образом, объем ЗРП на ансамбли (например, два множества цветных кругов, перемешанных в пространстве) оказывается существенно ниже, чем объем ЗРП на объекты, заданные тем же признаком (например, отдельные цветные круги). Тот факт, что методики, с помощью которых были получены оценки объема ЗРП для объектов и для ансамблей, достаточно существенно отличаются, не позволяет с полной уверенностью ответить вопрос о том, является ли ограничение объема двумя элементами следствием дополнительных затрат на кодирование ансамблей или просто следствием различий в самих методиках.

## 4. Гипотезы о природе ограничений: теории ЗРП

О природе ограничений зрительной рабочей памяти (ЗРП) ведется немалое количество споров. Как правило, противопоставляется идея об ограниченном числе отдельных «ячеек», в которых хранятся зрительные репрезентации, и идея об определенном объеме «ресурсов», распределяемом по удерживаемым с необходимой точностью или детализацией репрезентациям. Относительно недавно также появилась «гибридная» гипотеза об иерархическом кодировании в ЗРП.

### 4.1. Дискуссия о структурных (ячеечных) и ресурсных ограничениях

Одна из первых структурных, или ячейечных, моделей кратковременной памяти в когнитивной науке была предложена Дж. Миллером (Miller, 1956). Согласно этой модели, максимальный объем кратковременного запоминания ограничен фиксированным количеством дискретных единиц хранения (*ячеек*, или *слов*), каждая из которых предназначена для одного и только одного структурного элемента, каким бы он ни был. Дж. Миллер не определял объем информации, который потенциально может быть удержан в ячейках: если информация может быть структурирована в один элемент, будь то слог, число, слово или другая единица, то она занимает одну ячейку. Подобная идея о существовании дискретных ячеек получила широкое распространение в теориях РП. В частности, Н. Коуэн (Cowan, 2001) в результате сопоставления обширных литературных данных из разных экспериментальных парадигм отмечает, что все они в конечном итоге демонстрируют одно и то же фундаментальное ограни-

чение в 3–4 структурных элемента, в отношении которых задача может выполняться более-менее без потерь в точности. К таким задачам относятся собственно разнообразные тесты памяти, а также задачи, непосредственно память не измеряющие, такие как мгновенная оценка количества (*rapid enumeration*) или слежение за несколькими движущимися объектами (*multiple-object tracking*). Поскольку все эти парадигмы имеют дело с совершенно разными типами материала и инструкциями испытуемым, то, по мнению Н. Коуэна, это может означать существование неких инвариантных структур хранения, в которые может быть помещен любой релевантный материал в количестве 3–4 структурных единиц.

Применительно собственно к ЗРП, важным аргументом в пользу ячеечных теорий стали классические данные С. Лака и Э. Фогеля (Luck, Vogel, 1997) о том, что запоминание целостных объектов позволяет удерживать фактически любое количество признаков этих объектов, если только само количество объектов не превышает 3–4. Как было показано выше (см. параграф 3.1), существует целый ряд факторов, ограничивающих этот первоначальный вывод. Такими факторами, например, являются сложность самих запоминаемых объектов или сложность различения между объектами или их признаками. Например, в ситуации, когда цвет запоминаемого образца может лишь немного отличаться по тону от цвета тестового объекта, объем ЗРП в задаче на обнаружение изменений значительно меньше, чем в тех случаях, когда цвета образца и теста отличаются существенно (например, Fougne et al., 2010). Таким образом, похоже, что ограничения ЗРП зависят не только от структуры запоминаемого материала, но и от требуемого уровня точности.

Идея о зависимости количества удерживаемой в ЗРП информации от требуемого уровня точности получила разработку в рамках *ресурсных моделей*. Их основным постулатом является утверждение о том, что объем ЗРП ограничен не количеством ячеек, а некоторым «ресурсом», который может быть потрачен на любое количество структурных единиц, но только за счет качества репрезентации каждой из этих единиц (Ma et al., 2014). Например, если наблюдателю предъявлено восемь цветных объектов, то он может запомнить все цвета, но с меньшей точностью, чем он смог бы запомнить цвета четырех объектов. В качестве альтернативы, если бы наблюдателю понадобилось запомнить объекты более точно, то он бы, возможно, предпочел уменьшить объем запоминаемой информации, но выделить больше ресурсов на запоминание каждого из объектов. Именно такой паттерн уменьшения объема ЗРП на сложные объекты обнаружили Дж. Альварес и П. Каванакс (Alvarez, Cavanagh, 2004).

Используя комбинацию методов обнаружения изменений и градуального отчета (см. параграфы 2.2 и 2.3), П. Уилкен и В.-Дж. Ма (Wilken, Ma, 2004) попытались напрямую оценить, как меняется точность репрезентаций ЗРП при изменении нагрузки. Они провели серию экспериментов, в которых тестировали ЗРП на цвет, пространственную частоту и ориентацию. В задаче на обнаружение изменений варьировалось количество признаков, количество объектов и количество

изменений этих объектов. В экспериментах по методу градуального отчета испытуемые должны были отчитаться о признаке релевантного объекта, при этом также варьировалось количество объектов на экране. По результатам экспериментов на обнаружение изменений строились модели репрезентаций ЗРП на основе математического аппарата теории обнаружения сигнала (ТОС). Особенность ТОС при моделировании ЗРП состоит в том, что в данном случае каждый объект в памяти представлен как непрерывная переменная с гауссовым шумом, а не как дискретный элемент в отсутствие шума (то есть присутствие которого нельзя ложно подтвердить). Данные показали, что зашумленность репрезентации сигнала в моделях возрастала с увеличением числа объектов в наборе. Аналогичный результат дал и метод градуального отчета, в котором параметр шума оценивается более прямо — как стандартное отклонение (*SD*) распределения величин ошибок. Авторы делают вывод, что нет необходимости постулировать второй, более высокий, уровень хранения для объяснения ограничений, возникающих при увеличении количества объектов в наборе. Шум в активности нейронов и простое правило принятия решений достаточны для объяснения большей части данных по ЗРП. Результаты указывают на независимое, параллельное кодирование всех стимулов и ограничение эффективности внутренним шумом. Иными словами, ЗРП так или иначе кодирует все предъявленные объекты, однако качество репрезентации каждого из этих объектов уменьшается по мере возрастания их количества — эта идея соответствует логике скорее ресурсной, чем ячеечной модели. При этом стандартное отклонение ответов, являющееся в ТОС мерой внутреннего шума и характеризующее точность репрезентации, монотонно увеличивается как степенная функция от количества запоминаемых стимулов (Bays, Husain, 2008; Ma et al., 2014).

Однако сторонники ячеечной теории В. Жань и С. Лак (Zhang, Luck, 2008) подвергли критике выводы П. Уилкена и В.-Дж. Ма, которые не учитывали, что измеряемый в экспериментах уровень шума (дисперсия величины ошибки) включает в себя ошибку, связанную со случайными угадываниями, которая скорее говорит об отсутствии тестируемого элемента в памяти, чем о падении точности репрезентации. Иными словами, возрастание величины ошибки с увеличением объема запоминаемого множества может объясняться ростом количества объектов, попросту не попадающих в ЗРП (что соответствует ячеечной модели), а не уменьшением точности каждой репрезентации в связи с «растеканием» ресурсов по всем элементам. Применяв метод анализа, основанный на моделях смешения (см. описание в параграфе 2.4), к данным эксперимента по методу градуального отчета, В. Жань и С. Лак действительно показали, что при увеличении объема запоминаемого множества с трех до шести растет только вероятность случайного угадывания ( $P_{\text{guess}}$ ), в то время как уровень точности неслучайных ответов (показатель *SD*) остается постоянным. Более того, при переводе  $P_{\text{guess}}$  в показатель объема *C* по формуле, приведенной в параграфе 2.4, обнаруживается, что возрастание количества объектов для запоминания не меняет фактического объема ЗРП. Иными словами, по мнению

В. Жаня и Лака, в ЗРП сохраняется фиксированное количество элементов с одинаковой точностью, а все остальные элементы не сохраняются вовсе. Этот вывод говорит скорее о структурной, чем о ресурсной природе ограничений ЗРП.

В исследовании П. Бэйса и коллег (Bays et al., 2009) испытуемым было необходимо вспомнить цвет объекта в указанной позиции. Таким образом, измерялись ошибки репрезентации цвета и позиции (в предыдущих исследованиях не бралась в расчет необходимость запоминания позиции объектов). Результаты показали снижение точности вследствие увеличения числа объектов в наборе, что, по мнению авторов, свидетельствует в пользу механизма динамического распределения общего ресурса по зрительной сцене и о необязательности привлечения структурных ограничений для репрезентации объектов. В другом эксперименте (Huang, 2010) испытуемым предлагалось запомнить и воспроизвести шесть цветов (из возможных восьми). При моделировании распределения верных ответов эмпирический паттерн соответствовал предсказанию ресурсной модели, но заметно отличался от структурной. Результат анализа зависимости также указал на независимую параллельную репрезентацию объектов.

#### 4.2. Модели «ячейки+ресурсы»

Таким образом, имеющиеся на сегодняшний день данные не позволяют сделать определенного выбора в пользу структурного или ресурсного механизма, объясняющего природу ограничений ЗРП. Одной из естественных попыток выхода из подобного тупика явилось появление *моделей «ячейки+ресурсы» (slots+resources models)*, предполагающих, что, в зависимости от типа стимулов, а также способа измерения и анализа данных, ЗРП может вести себя в соответствии с предсказаниями как структурных, так и ресурсных моделей. Например, в исследованиях Джорджа Альвареса и Патрика Каванаха (Alvarez, Cavanagh, 2004), а также Эдварда О и коллег (Awh et al., 2007) с использованием методики обнаружения изменений (параграф 2.2) было показано, что объем ЗРП нелинейным образом зависит от комбинации сложности кодируемых стимулов и сложности сравнения стимула-образца и стимула-теста. Так, в задаче обнаружения крупных изменений цвета (простые кодируемые стимулы) объем ЗРП был стабильно равен 4–5 элементам. Однако в задаче со сложными кодируемыми стимулами (например, иероглифами и кубами с разноокрашенными гранями) оценка объема зависела от сложности сравнения: она составляла около двух элементов, когда образец и тест были похожи (например, когда один иероглиф заменялся на другой), и выходила на уровень около четырех элементов, когда образец и тест сильно различались (например, иероглиф заменялся на куб). Таким образом, Эдвард О и коллеги предположили существование двухфакторного механизма ЗРП, при котором в случае низкой сложности объектов ограничения обуславливаются исключительно количеством ячеек, однако при увеличении сложности происходит качественное изменение в характере обработки и включаются «ресурсные» ограничения.

В. Жань и С. Лак (Zhang, Luck, 2008) в своем исследовании по методу градуального отчета с моделью смещения (см. параграф 2.4) также обнаружили результат, не вписывающийся целиком в структурную модель, которую они принимают в качестве основной. Дело в том, что при малых количествах объектов (например, при переходе от одного к двум объектам) они обнаружили небольшое, но все же значимое снижение точности репрезентаций в ЗРП при сохранении очень низкой вероятности случайных угадываний  $P_{\text{guess}}$  в то время как при больших количествах запоминаемых элементов (более трех) точность не менялась, а  $P_{\text{guess}}$  увеличивалась. Этот результат означает, что в пределах структурных ограничений (до 3–4 ячеек), на которых настаивают В. Жань и С. Лак, возможно некоторое перераспределение ресурсов, при котором один элемент будет запоминаться точнее, чем два или три; однако при превышении структурных ограничений ресурс будет выделяться только на попавшие в ячейки элементы, обеспечивая для них стабильный уровень точности, в то время как все остальные элементы будут попросту забыты. Таким образом, модель В. Жаня и С. Лака можно рассматривать как пример модели «ячейки+ресурсы», в которой роль ячеек первична.

#### 4.3. Иерархическое кодирование

«Третий взгляд» на ЗРП, который объединяет факты в пользу как ячейечной, так и ресурсной моделей, но предлагает принципиально новый механизм, получил название *теории иерархического кодирования (hierarchical encoding theory)* (Brady et al., 2011). Она предполагает, что репрезентации элементов в ЗРП формируются отдельно на нескольких уровнях: уровне отдельных признаков, уровне связанных объектов, а также уровне или даже нескольких уровнях, кодирующих информацию о целых группах объектов. Каждый уровень обладает своими ограничениями, которые сами по себе могут быть довольно жесткими (что соответствует идее фиксированного количества ячеек или ресурсов). Однако параллельное кодирование тех же стимулов на других уровнях позволяет удерживать больше информации и на том уровне, который наиболее релевантен поставленной задаче (Brady, Alvarez, 2015), при сохранении его собственных ограничений. Например, одновременное запоминание цветов и ориентаций трех одновременно предъявленных объектов (итого шесть независимых признаков) приводит к значительному снижению точности запоминания, по сравнению с задачей, когда требуется запоминать только цвет или только ориентации (итого три признака) (Fougnie et al., 2010). Этот результат свидетельствует о существовании ограничений на уровне кодирования признаков. Однако вместе с этим на эффективность запоминания влияет и кодирование информации на объектном уровне: испытуемые демонстрировали более высокий объем ЗРП на цвета и ориентации, когда признаки относились к одним и тем же объектам (три треугольника, каждый имеет определенную ориентацию и цвет), чем когда они принадлежали разным объектам (три ахроматических треугольника разной ориентации и три цветных круга). Второй результат хорошо соотносится с классическими данными С. Лака и Э. Фоге-

ля (Luck, Vogel, 1997), однако первый делает затруднительным объяснение с помощью ячейечной модели, которой придерживаются эти авторы (Luck & Vogel, 2013), поскольку ячейки должны вмещать в себя фиксированное количество единиц (объектов во всей совокупности их признаков) с фиксированной точностью. Аналогичным образом, не подходит для объяснения результатов и ресурсная модель, но по противоположным причинам: она предсказывает одинаковые точность и объем ЗРП при запоминании шести признаков — будь то признаки трех или шести объектов.

Важным следствием теории иерархического кодирования, которое не предсказывается другими теориями, является то, что запоминаемое содержание на одном уровне кодирования будет неизбежно пронизуемо для процессов, происходящих на другом уровне. Т. Брэйди и Дж. Альварес (Brady, Alvarez, 2011), показали, как подобные межуровневые взаимодействия в ЗРП могут приводить к систематическим искажениям запоминаемого материала. В их экспериментах испытуемым предъявлялись наборы кругов разного размера и цвета. Задача испытуемых состояла в том, чтобы запомнить размеры всех кругов, а затем подравнять по памяти размер зондового круга под размер эталона, показанного в том же месте, что и зонд. Авторы обнаружили, что при подравнивании размеры кругов систематически сдвигались к среднему, то есть размер наибольших кругов систематически занижался, а размер наименьших завышался. Иными словами, происходило взаимодействие процессов кодирования информации об отдельных объектах и иерархически более высокой единице — группе, или ансамбле (см. параграф 3.2). Таким образом, согласно теории иерархического кодирования, информация об объектах и их признаках не хранится в виде независимых структур; репрезентации конструируются благодаря интеграции информации с разных уровней абстракции. Такой способ репрезентации информации является весьма эффективным, так как позволяет «сжимать» информацию о множестве объектов и, как следствие, обрабатывать большее ее количество за меньшее время.

Несомненно, в теории иерархического кодирования довольно явно прослеживается более старая идея организации структурных единиц (chunking), предложенная Дж. Миллером (Miller, 1956). Теория иерархического кодирования оригинально разрабатывает эту идею, основываясь на новых экспериментальных подходах и данных.

## 5. Забывание в ЗРП

Помимо ограничений объема и точности, рассмотренных выше, еще одним фундаментальным ограничением ЗРП является время хранения, которое, как следует из определения, является довольно коротким (как правило, речь идет о нескольких секундах). Это означает, что даже в случае успешного кодирования и удержания следа с течением времени возрастает вероятность того, что испытуемый сможет отчитаться об этом следе неточно, не полностью или не отчитаться вовсе, что говорит о забывании в ЗРП.

Стандартный прием, который используется в исследованиях динамики памяти, заключается в варьировании времени между этапами запоминания (кодирования) и тестирования (извлечения). Предполагается, что это позволяет оценить состояние материала на момент, когда производится тестирование. Эта логика используется в исследованиях как кратковременного, так и долговременного хранения, а также сопутствующих им процессов забывания.

Важным отличием ЗРП от ВРП, на материале которой разработана основная часть методологии изучения хранения и забывания, является континуальный характер ее содержания — зрительного образа (в противоположность более дискретному характеру вербального материала). Эта особенность имеет особое значение при разработке методологии, позволяющей оценивать тонкую динамику репрезентаций ЗРП. Такая методология должна превосходить по мощности методы, позволяющие констатировать наличие или отсутствие определенного элемента в памяти на определенном интервале тестирования. Один из перспективных подходов к динамике ЗРП состоит в измерении порогов различения стимула-образца и стимула-теста при разных интервалах хранения. В сущности, данный метод основывается на классическом психофизическом методе констант, в который в качестве фактора добавлена задержка, необходимая для оценки характеристик репрезентации ЗРП на том или ином этапе хранения.

Исследования, проведенные с помощью метода измерения порогов при различных задержках, привели к формулировке так называемой *теории угасания*. Согласно данной теории, хранимые в ЗРП репрезентации действительно подвергаются определенным трансформациям в процессе хранения. В результате этих трансформаций образ памяти постепенно становится все менее точным, что в конечном счете ведет к его полному исчезновению. Так, в экспериментах было показано, что с течением времени с момента запоминания (в разных исследованиях были протестированы интервалы от 0.5 до 30 секунд) пороги различения простых стимульных характеристик образца и теста неуклонно растут (Cornelissen, Greenlee, 2000; Lee, Harris, 1996; Paivio, Bleasdale, 1974; Ricker, Cowan, 2010; Ricker et al., 2014). При этом привлечение внимания к одному из хранимых в памяти объектов спустя короткое время после предъявления стимула-образца существенно снижает скорость угасания (Asthle et al., 2012; Berryhill et al., 2012; Pertzov et al., 2013), что указывает на важную роль внимания в процессах не только кодирования, но и удержания информации в ЗРП.

Однако теория угасания была подвергнута критике. Так, В. Жань и С. Лак (Zhang, Luck, 2009) считают, что вывод о постепенном снижении точности репрезентаций построен на ошибочной интерпретации динамики порогов. По их мнению, увеличение значения порога (который традиционно вычисляется через построение зависимости вероятности правильных ответов от величины стимула) с течением времени может быть частично объяснено возрастанием вероятности случайных угадываний, указывающих на полное отсутствие элемента в памяти. Напомним, подобное со-

ображение лежит в основе критики В. Жанем и С. Лакком стандартного подхода к анализу данных метода градуального отчета (Zhang, Luck, 2008 — см. параграфы 2.3 и 2.4). Используя метод градуального отчета с моделью смещения (параграф 2.4) при разных интервалах удержания информации (1, 4 и 10 секунд), В. Жань и С. Лак обнаружили, что уровень точности репрезентаций, остающихся в памяти (показатель  $SD$  компонента нормального распределения) не менялся в течение всего тестируемого времени; однако в период между 4 и 10 секундами происходило возрастание показателя  $P_{guess}$ , свидетельствующее об учащении случайных угадываний. Этот результат привел авторов к теории «внезапной смерти» (*sudden death*), согласно которой репрезентация в ЗРП сохраняет стабильный уровень точности на протяжении всего времени хранения, однако по прошествии определенного времени (предположительно, свыше четырех секунд) возрастает вероятность ее забывания; при этом само забывание происходит мгновенно (см. также Donkin et al., 2015).

Если теории угасания и «внезапной смерти» предполагают, что решающим фактором забывания является само время, то широкий класс теорий *интерференции* предполагает, что трансформации, происходящие с отдельными репрезентациями, со временем приводят ко все возрастающему смещению репрезентаций между собой, что, в свою очередь, ведет к невозможности их различения. Разные варианты этих теорий предполагают немного различающиеся механизмы интерференции. Одна из точек зрения заключается в том, что с течением времени признаки отдельных объектов *усредняются*, что приводит к тому, что испытуемый скорее извлекает из ЗРП воспоминание о «типичном» объекте, чем о действительно предъявленном (Dubé et al., 2014). Эта точка зрения хорошо согласуется с представлениями об относительной эффективности кодирования сводных статистик по сравнению с отдельными объектами (см. параграф 3.2) и теорией иерархического кодирования (см. параграф 4.4). Другой вариант теории интерференции предполагает, что при хранении может происходить «развязывание» (*unbinding*) репрезентаций объектов (процесс, противоположный связыванию, см. параграф 3.1) с последующим связыванием в произвольной комбинации при воспроизведении. Это может приводить к тому, что при высокой сохранности репрезентаций отдельных признаков информация об объекте может быть воспроизведена неверно (по аналогии с ошибками связывания при восприятии объектов — иллюзорными соединениями признаков). Так, Й. Перцов с коллегами (Pertzov et al., 2012) продемонстрировали, что при сохранении способности к опознанию объектов, предъявленных на короткое время, испытуемые испытывали затруднения, когда их просили расположить эти объекты по памяти в пространстве экрана, чтобы расположение соответствовало образцу. При этом вероятность и величина ошибки возрастали при увеличении количества объектов, что соответствует типичной картине интерференции. Иными словами, при хорошей ЗРП на объекты участники эксперимента испытывали проблемы со связыванием репрезентаций объектов и пространственных признаков, часто демонстрируя

ошибочное связывание объектов с местами, реально принадлежавшими другим объектам.

## 6. Нейрофизиологические корреляты ЗРП

### 6.1. Пространственная организация нейронной сети ЗРП

Данные, полученные в серии исследований с применением методов нейрокартирования и записи активности единичных нейронов, указывают на то, что в процесс кодирования материала в ЗРП вовлечена широко распределенная нейронная сеть. Важно отметить, что анатомически эта сеть существенно, хотя и не полностью, пересекается со структурами зрительной коры и ее работа основана на ряде фундаментальных принципов, общих с принципами обработки реального изображения. К наиболее важным из таких принципов относятся 1) ретинотопическая организация — сходство пространственного расположения нейронов, селективно чувствительных к определенным участкам зрительного поля, с расположением самих этих участков в физическом пространстве — и 2) специфичность кодирования, которая предполагает возникновение селективной активности (то есть повышение частоты спайков) определенных нейронов при стимуляции их рецептивного поля. Иными словами, при удержании стимулов в ЗРП в паттерне активации нейронных ансамблей в некотором смысле «проигрывается» перцептивный паттерн, возникающий при кодировании местоположений и признаков объектов. Одно из первых экспериментальных доказательств такого кодирования было получено в работе по пространственной ЗРП у обезьян (Funahashi et al., 1989). Обезьян тренировали запоминать пространственное расположение кратко предъявляемых во время фиксации взгляда стимулов и по сигналу переводить взгляд на позицию этого стимула. Во время периода задержки между предъявлением стимула и сигналом к переводу взгляда фиксировалась избирательная активность нейронов дорзальной префронтальной коры, зависящая от места предъявления стимула; расположение этих нейронов было ретинотопическим.

Префронтальная кора, задние отделы которой имеют большое количество ассоциативных связей с высшими отделами дорзального (пространственного) зрительного пути, играет важную роль не только в запоминании пространственных местоположений. Анатомическая связь передней префронтальной коры через ассоциативные волокна с областями вентрального («объектного») зрительного пути позволяет ей оказывать влияние на процессы удержания информации об объектах и их признаках. Так, Л. Унгерляйдер, С. Кортни и Дж. Хаксби в экспериментах с использованием позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) и функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) просили запоминать либо местоположение, либо идентичность нескольких последовательно предъявляемых лиц (Ungerleider et al., 1998). Они обнаружили, что выполнение первой задачи в большей степени коррелиру-

ет с активацией заднего отдела префронтальной коры, а выполнение второй задачи — с активацией переднего отдела. Далее Л. Унгерляйдер и коллеги обнаружили, что вместе с передней префронтальной корой в задаче запоминания лиц активируется нижневисочная кора, которая является частью вентрального пути; в свою очередь, в задаче запоминания лиц вместе с задней префронтальной корой активировались теменно-затылочные области, являющиеся частью дорзального пути. В контрольном эксперименте испытуемые выполняли аналогичные задачи (локализацию и опознавание лиц) в условиях непосредственного предъявления стимулов (то есть восприятия). При сравнении паттернов активации в экспериментах с восприятием и запоминанием обнаружилось, что второй случай отличается от первого именно активацией передней или задней префронтальной коры. В дальнейшем паттерн активации префронтальной коры при решении задач на ЗРП устойчиво воспроизводился в большом количестве исследований с использованием различных методов нейрокартирования (по: Constantinidis, Wang, 2004).

Полученные Л. Унгерляйдером и коллегами (Ungerleider et al., 1998) результаты позволили им сделать два важных вывода. Во-первых, префронтальная кора играет одну из центральных ролей в нейронной сети, обеспечивающей работу ЗРП. Во-вторых, процесс удержания следа в ЗРП в значительной мере задействует те же области мозга, которые вовлечены в процесс зрительного восприятия. Дальнейшие исследования показали, что активация во время удержания следа в ЗРП распространяется вплоть до первичной зрительной коры (Super et al., 2001).

## 6.2. Динамические нейронные паттерны при кодировании и хранении в ЗРП

Как отмечают Х. Константинидис и С.-Дж. Ванг (Constantinidis, Wang, 2001), типичное время хранения информации в ЗРП, измеряемое секундами, сильно превышает биологически правдоподобные длительности, в течение которых может поддерживаться активация нейронов в случае удаления стимуляции. По мнению авторов, столь длительное поддержание активности нейронной сети может быть осуществлено только за счет работы распределенной нейронной сети, в которой одни нейронные ансамбли активируют другие, а те, в свою очередь, генерируют сигналы обратной связи, возобновляющие активность первых. Подобный принцип получил название «возвратной петли» (recurrent loop). Х. Константинидис и С.-Дж. Ванг, основываясь на данных нейрофизиологических исследований, предполагают, что генератором подобного рода возвратной активности является префронтальная кора. Ее клетки первично активируются восходящими сигналами от зрительной коры, а затем распространяют активацию обратно на те области зрительной коры, с которой они связаны ассоциативными волокнами, после чего процесс повторяется. Таким образом, происходит циклический обмен сигналами между зрительной и префронтальной корой, который поддерживается в течение всего интервала времени до момента отчета или спонтанного прекращения реверберации в петле, что, предположительно, соответствует мгно-

венному забыванию («внезапной смерти», Zhang, Luck, 2009) содержания ЗРП. Большинство данных в поддержку пространственно-специфичного (см. параграф 6.1) нейронного механизма поддержания рабочей репрезентации, запускаемого перцептивным событием и продолжающегося в форме реверберирющей активности, получено в результате компьютерного моделирования биологически правдоподобных нейронных сетей (см. обзор: Constantinidis, Wang, 2004).

Нейронные процессы, связанные с поддержанием активной репрезентации в ЗРП, хорошо обнаруживаются на макроуровне. В последние годы для исследования процессов зрительного хранения ученые активно используют описанный в 2004 году компонент вызванного потенциала, получивший название *контралатеральной активности, связанной с отсрочкой* (contralateral delay activity) — CDA (Vogel, Machizawa, 2004). Традиционно экспериментальная парадигма, в которой регистрируется CDA, представляет собой задачу обнаружения изменений, в которой испытуемому предъявляют объекты для запоминания (как правило, цветные фигуры) по обе стороны от точки фиксации, однако требуют запомнить фигуры только из одного полуполя, о чем заранее сообщает подсказка в форме стрелки в районе фиксации. Результат этой процедуры проявляется в виде асимметрии вызванных потенциалов, регистрируемых с затылочных электродов. Эта асимметрия возникает с латентностью примерно в 300 мс с момента предъявления стимула-образца и длится вплоть до предъявления стимула-теста, когда репрезентация образца должна быть извлечена для сравнения с тестом. Асимметрия состоит в относительном увеличении амплитуды негативного потенциала в полушарии, контралатеральном запоминаемому полу полю. Разница в амплитудах контралатерального и ипсилатерального потенциалов и представляет собой CDA. Поскольку объекты предъявляются в обоих полу полях, то CDA приписывают исключительно факту удержания одного из полу полей в ЗРП, а не зрительному анализу, который также ассоциирован с активностью в затылочных областях.

Результаты исследований с использованием CDA показали, что этот компонент вызванного потенциала надежно коррелирует с поведенческими показателями эффективности запоминания. В частности, его амплитуда растет пропорционально количеству запоминаемых объектов, причем рост практически выходит на плато при достижении «магического числа» — примерно 3–4 объектов (McCollough et al., 2007; Vogel, Machizawa, 2004; Luria et al., 2016). Амплитуда CDA также коррелирует с точностью ответа (McCollough et al., 2007): в случае правильного обнаружения изменения она, как правило, выше, чем в случае пропуска — таким образом, в ней, вероятно, находят свое отражение свои кодирования и/или хранения. Индивидуальные различия между испытуемыми по амплитуде CDA показывают достаточно высокие положительные корреляции с индивидуальными различиями в средней оценке объема ЗРП, измеренного с помощью К Коуэна (параграф 2.2.), а также с индивидуальными различиями в целом ряде других задач, предположительно действующих ЗРП — например, в зрительном поиске,

слежении за несколькими движущимися целями и др. (см. обзор: Luck, Vogel, 2013; Luria et al., 2016). Р. Лурия и соавторы (Luria et al., 2016) особенно отмечают методические и теоретические преимущества исследований с CDA, который оказывается весьма чувствительным к экспериментальным манипуляциям на этапе кодирования и хранения, а потому позволяет более тонко зондировать механизмы ЗРП, чем единичный поведенческий ответ об обнаружении или необнаружении изменения на выходе.

### 6.3. Нейрофизиологические объяснения ограничений ЗРП

Апелляция к данным нейрофизиологии и построенным на их основе вычислительным моделям позволяет по-новому подойти к вопросу о природе фундаментальных ограничений ЗРП. Основная дискуссия вокруг этого вопроса разворачивается между сторонниками структурных (ячеечных) и ресурсных теорий.

В своей обзорной статье С. Лак и Э. Фогель (Luck, Vogel, 2013), сторонники ячейечной теории, опираясь на работы по компьютерному моделированию биологически правдоподобных нейронных сетей ЗРП, делают вывод, что ограниченный объем ЗРП является следствием структурных ограничений механизма реверберации в возвратной петле, обеспечивающей удержание репрезентации до момента отчета. Если выше мы обсуждали реверберацию внутри одной петли (см. параграф 6.2), то для понимания природы ограничений объема ЗРП нам необходимо ввести представление об одновременной активности нескольких таких петель. Опираясь на представления о мозговых механизмах интеграции признаков в восприятии, А. Раффоне и Г. Уолтерс (Raffone, Wolters, 2001) предполагают, что хранение репрезентации каждого отдельного объекта требует формирования отдельной возвратной петли, что физически выражается в *синхронной* генерации спайков распределенными нейронными ансамблями, кодирующими различные признаки этого объекта. Подобная синхронизация, по мнению А. Раффоне и Г. Уолтерса, разделяемому С. Лаком и Э. Фогелем, является механизмом *связывания* в ЗРП. Биофизически правдоподобные свойства нейронных ансамблей в модели А. Раффоне и Г. Уолтерса предполагают, что за каждой серией синхронных спайков следует период постепенного затухания спайковой активности до следующей серии спайков, обеспечивающих процесс реверберации активности нейронной сети. При кодировании следующего объекта другие нейронные ансамбли также должны синхронизироваться между собой для создания еще одной возвратной петли; при этом новая петля должна десинхронизироваться с петлей, кодирующей первый объект. Иными словами, нейроны одной сети должны разряжаться в одну фазу, в то время как разрядки нейронов разных сетей должны быть разнесены по фазе (и возможно, по частоте). Таким образом, при запоминании нескольких объектов образуется несколько синхронизированных внутри себя нейронных сетей, каждая из которых ставится в очередь вместе с другими нейронными сетями (физиологическое подтверждение такой десинхронизации было получено на материале записей ответов единичных нейронов

обезьян, запоминавших два объекта, Siegel et al., 2009). Чем длиннее эта очередь (то есть чем больше объектов необходимо удерживать в ЗРП), тем больше интервал между сериями спайков внутри одной сети. Если такой интервал превышает определенное критическое время затухания спайковой активности, то последующее возобновление активности в этой сети становится невозможным, что означает потерю репрезентации объекта из ЗРП, то есть его забывание. Биофизически правдоподобные параметры нейронов, заложенные А. Раффоне и Г. Уолтерсом в модель (имитирующие свойства нейронов префронтальной коры и нижневисочной коры), позволяют поставить в очередь не более 3–4 разнесенных по фазе ревербирующих сетей, что предсказывает успешное хранение не более 3–4 объектов и хорошо соотносится с результатами поведенческих экспериментов (параграф 3.1). Нетрудно видеть, что подобный механизм хранения репрезентаций предполагает действие закона «все-или-ничего»: репрезентация либо хранится целиком (до тех пор, пока поддерживается реверберация в синхронизированной сети), либо исчезает целиком (если синхронная активность прекратилась вследствие превышения критического времени «ожидания» очереди или просто со временем). Действие закона «все-или-ничего» в большей степени соответствует метафорическому описанию ЗРП в виде ячеек, хранящих дискретные репрезентации фиксированной точности (см. параграф 4.1).

Существуют, однако, и представления, говорящие скорее в пользу ресурсных моделей. П. Бэйс (Bays, 2014, 2015), являющийся одним из наиболее последовательных сторонников ресурсной теории ЗРП, приводит альтернативное нейрофизиологическое объяснение ограничений ЗРП. Разделяя в целом представления о ревербирующей активности в нейронных сетях, П. Бэйс считает, что активность внутри каждой такой сети становится шумом для других, параллельно активных сетей. Таким образом, общий уровень шума в нейронных ансамблях, кодирующих каждый из запоминаемых элементов, неизбежно возрастает при возрастании количества таких элементов, что и приводит к *плавному* снижению точности и надежности каждой из репрезентаций. Механизм возрастания шума в нейронных ансамблях П. Бэйс описывает через хорошо известный в нейрофизиологии механизм популяционных ответов. Каждый запоминаемый признак объекта (например, цвет или ориентация) на стадии восприятия кодируется популяцией пространственно- и признако-селективных нейронов, частота спайков которых зависит от степени близости предъявленного стимула к «предпочитаемому» нейроном месту и значению признака; на стадии удержания стимула в памяти этот механизм продолжает работать в режиме «реверберации». Таким образом, суммарная активность всех нейронов представляет собой «шум» относительно ответа каждого нейрона в отдельности, и выделение сигнала (то есть определение стимульного признака) происходит за счет нахождения нейрона с пиковой активностью, что требует деления частоты спайков каждого нейрона на общепопуляционную величину — таким образом, определяется нормализованная активность каждого нейрона. При увеличении количества запоми-

наемых элементов задействуется все больше локальных нейронных популяций, что приводит к разрастанию общей активности, являющейся шумом по отношению к активности каждого селективного нейрона. Следовательно, нормализованная активность каждого нейрона оказывается относительно низкой и сглаженной по сравнению с остальными, что затрудняет выделение сигнала (то есть удержание в ЗРП точной репрезентации оригинального стимула). Работа подобного механизма была подтверждена в исследовании с регистрацией ответов единичных нейронов у обезьян в задаче обнаружения изменений цветовых стимулов (Buschman et al., 2011). Авторы регистрировали активность нейронов префронтальной и теменной областей коры, в рецептивных полях которых предъявлялись стимулы. В результате было обнаружено, что чем больше было количество запоминаемых объектов, тем ниже была частота спайков в рецептивном поле нейрона, кодирующего каждый отдельный объект. Похожие результаты были получены при анализе фМРТ испытуемых-людей, решавших задачу запоминания местоположения одного или двух объектов (Sprague et al., 2014). Анализируя активность затылочных и теменных областей при запоминании местоположения одного объекта, авторы обнаружили повторяющийся сразу в нескольких областях коры паттерн мощной активации локальной области, соответствующей ретинотопическим координатам запоминаемого объекта. В задаче запоминания двух местоположений обнаруживалось два активационных «пятна», причем амплитуда каждого из них была существенно меньше активации единичного очага в случае запоминания одного местоположения. Ослабление амплитуды коррелировало с поведенческими данными: точность воспроизведения координат целевых объектов при условии запоминания двух местоположений была ниже, чем при условии запоминания только одного местоположения.

В нейрофизиологической литературе и литературе по компьютерному моделированию представлены взгляды, пытающиеся примирить взгляды структурных и ресурсных моделей. Условно их можно соотнести с общими моделями типа «ячейки+ресурсы» (см. параграф 4.2). Так, одна из недавних компьютерных моделей включает в себя как механизм, ограничивающий количество синхронизированных нейронных популяций, так и амплитуду нормализованного ответа каждой такой популяции в зависимости от активности других популяций (Wei et al., 2012). Я. Сю и М. Чан (Xu, Chun, 2006) в своем фМРТ-исследовании показали, что отдельные части нейронной сети ЗРП могут демонстрировать паттерны, соответствующие скорее структурному принципу, в то время как другие — скорее ресурсному принципу. Авторы показали наличие зон в нижней части внутритеменной борозды (IPS) и латеральном затылочном комплексе (LOC), которые работают параллельно для обеспечения кодирования и удержания зрительной информации. Вне зависимости от сложности объекта, репрезентации в IPS ограничены фиксированным числом объектов в различных областях пространства, что, по мнению авторов, указывает на вовлечение механизма пространственного внимания, который может выбирать и определять макси-

мальное количество удерживаемых в ЗРП объектов. Репрезентации же в LOC ограничены не количеством объектов, а их сложностью и общим объемом закодированной зрительной информации.

Хотя результаты нейрофизиологических исследований на животных и человеке, а также попытки моделирования нейронных механизмов могут, как мы видели, приводить к противоречивым выводам относительно фундаментальных вопросов, таких как природа ограничений ЗРП, они все же, несомненно, обеспечивают существенный прогресс в понимании ее механизмов. Одним из важных следствий, которые проистекают из подобных работ, является, в частности, демистификация «магических чисел» и попытка дать им биологически правдоподобное объяснение.

## 7. Резюме

В данном обзоре мы рассмотрели современное состояние исследований в области зрительной рабочей памяти (ЗРП). Мы проследили развитие методологии, которая в силу естественных предметных связей с исследованиями зрительного восприятия унаследовала ряд тонких психофизических и нейрофизиологических методов (разделы 2 и 6). Применение этих методов позволило исследователям построить аккуратные процедуры для проверки целого ряда фундаментальных вопросов. Среди этих вопросов — вопросы о содержательном характере репрезентаций, хранимых в памяти (раздел 3 о структурных единицах ЗРП), а также о природе ограничений объема и точности ЗРП, который выходит далеко за пределы данной специальной области (см. раздел 4). Неслучайно этот вопрос вызывает весьма серьезные дебаты между сторонниками различных теорий, основными из которых являются структурная (ячеечная) и ресурсная. Впрочем, появление теории иерархического кодирования, возможно, открывает возможность выхода за пределы дискуссии «ячейки-ресурсы» и нового взгляда на организацию ЗРП, созвучную многим классическим и современным представлениям об организации зрительного восприятия.

Таким образом, развитие исследований в области ЗРП движется в направлении моделей, основанных, с одной стороны, на существующих психологических теориях, а с другой — на результатах остроумных нейрофизиологических экспериментов, позволяющих сделать такие модели биологически правдоподобными (раздел 6).

## Литература

- Alloway T.P., Alloway R.G. Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment // *Journal of Experimental Child Psychology*. 2010. Vol. 106. No. 1. P. 20–29. doi:10.1016/j.jecp.2009.11.003
- Alvarez G.A. Representing multiple objects as an ensemble enhances visual cognition // *Trends in Cognitive Sciences*. 2011. Vol. 15. No. 3. P. 122–131. doi:10.1016/j.tics.2011.01.003
- Alvarez G.A., Cavanagh P. The capacity of visual short-term memory is set both by visual information load and by number of objects // *Psychological Science*. 2004. Vol. 15. No. 2. P. 106–111. doi:10.1111/j.0963-7214.2004.01502006.x

- Ariely D. Seeing sets: Representation by statistical properties // *Psychological Science*. 2001. Vol. 12. No. 2. P. 157–162. doi:10.1111/1467-9280.00327
- Astle D.E., Summerfield J., Griffin I., Nobre A.C. Orienting attention to locations in mental representations // *Attention, Perception, & Psychophysics*. 2012. Vol. 74. No. 1. P. 146–162. doi:10.3758/s13414-011-0218-3
- Attarha M., Moore C.M., Vecera S.P. Summary statistics of size: Fixed processing capacity for multiple ensembles but unlimited processing capacity for single ensembles // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2014. Vol. 40. No. 4. P. 1440–1449. doi:10.1037/a0036206
- Awh E., Barton B., Vogel E.K. Visual working memory represents a fixed number of items regardless of complexity // *Psychological Science*. 2007. Vol. 18. No. 7. P. 622–628. doi:10.1111/j.1467-9280.2007.01949.x
- Baddeley A. Working Memory. Oxford, UK: Clarendon Press, 1986.
- Baddeley A. The episodic buffer: a new component of working memory? // *Trends in Cognitive Sciences*. 2000. Vol. 4. No. 11. P. 417–423. doi:10.1016/S1364-6613(00)01538-2
- Baddeley A.D., Hitch G. Working memory // *Psychology of Learning and Motivation*. 1974. Vol. 8. P. 47–89. doi:10.1016/s0079-7421(08)60452-1
- Bays P.M. Noise in neural populations accounts for errors in working memory // *The Journal of Neuroscience*. 2014. Vol. 34. No. 10. P. 3632–3645. doi:10.1523/jneurosci.3204-13.2014
- Bays P.M. Spikes not slots: noise in neural populations limits working memory // *Trends in Cognitive Sciences*. 2015. Vol. 19. No. 8. P. 431–438. doi:10.1016/j.tics.2015.06.004
- Bays P.M., Catalao R.F., Husain M. The precision of visual working memory is set by allocation of a shared resource // *Journal of Vision*. 2009. Vol. 9. No. 10. P. 7:1–11. doi:10.1167/9.10.7
- Benaglia T., Chauveau D., Hunter D., Young D. Mixtools: An R package for analyzing finite mixture models // *Journal of Statistical Software*. 2009. Vol. 32. No. 6. P. 1–29. doi:10.18637/jss.v032.i06
- Berryhill M.E., Richmond L.L., Shay C.S., Olson I.R. Shifting attention among working memory representations: Testing cue type, awareness, and strategic control // *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2012. Vol. 65. No. 3. P. 426–438. doi:10.1080/17470218.2011.604786
- Brady T.F., Alvarez G.A. Hierarchical encoding in visual working memory: Ensemble statistics bias memory for individual items // *Psychological Science*. 2011. Vol. 22. No. 3. P. 384–392. doi:10.1177/0956797610397956
- Brady T.F., Alvarez G.A. No evidence for a fixed object limit in working memory: Spatial ensemble representations inflate estimates of working memory capacity for complex objects // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2015. Vol. 41. No. 3. P. 921–929. doi:10.1037/xlm0000075
- Brady T.F., Konkle T., Alvarez G.A. A review of visual memory capacity: Beyond individual items and toward structured representations // *Journal of Vision*. 2011. Vol. 11. No. 5. P. 4:1–34. doi:10.1167/11.5.4
- Buschman T.J., Siegel M., Roy J.E., Miller E.K. Neural substrates of cognitive capacity limitations // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2011. Vol. 108. No. 27. P. 11252–11255. doi:10.1073/pnas.1104666108
- Constantinidis C., Wang X.-J. A neural circuit basis for spatial working memory // *The Neuroscientist*. 2004. Vol. 10. No. 6. P. 553–565. doi:10.1177/1073858404268742
- Cornelissen F.W., Greenlee M.W. Visual memory for random block patterns defined by luminance and color contrast // *Vision Research*. 2000. Vol. 40. No. 3. P. 287–299. doi:10.1016/S0042-6989(99)00137-6
- Cowan N. The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity // *The Behavioral and Brain Sciences*. 2001. Vol. 24. No. 1. P. 87–114. doi:10.1017/S0140525X01003922
- Donkin C., Nosofsky R., Gold J., Shiffrin R. Verbal labeling, gradual decay, and sudden death in visual short-term memory // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2015. Vol. 22. No. 1. P. 170–178. doi:10.3758/s13423-014-0675-5
- Dubé C., Zhou F., Kahana M.J., Sekuler R. Similarity-based distortion of visual short-term memory is due to perceptual averaging // *Vision Research*. 2014. Vol. 96. P. 8–16. doi:10.1016/j.visres.2013.12.016
- Fougnie D., Alvarez G.A. Object features fail independently in visual working memory: Evidence for a probabilistic feature-store model // *Journal of Vision*. 2011. Vol. 11. No. 12. P. 3:1–13. doi:10.1167/11.12.3
- Fougnie D., Asplund C.L., Marois R. What are the units of storage in visual working memory? // *Journal of Vision*. 2010. Vol. 10. No. 12. P. 27:1–11. doi:10.1167/10.12.27
- Fukuda K., Vogel E., Mayr U., Awh E. Quantity, not quality: The relationship between fluid intelligence and working memory capacity // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2010. Vol. 17. No. 5. P. 673–679. doi:10.3758/17.5.673
- Funahashi S., Bruce C.J., Goldman-Rakic P.S. Mnemonic coding of visual space in the monkey's dorsolateral prefrontal cortex // *Journal of Neurophysiology*. 1989. Vol. 61. No. 2. P. 331–349. URL: <http://jn.physiology.org/content/jn/61/2/331.full.pdf>.
- Haberman J., Whitney D. Ensemble perception: Summarizing the scene and broadening the limits of visual processing // *From perception to consciousness: Searching with Anne Treisman / J. Wolfe, L. Robertson (Eds.)*. New York: Oxford University Press, 2012. P. 339–349.
- Halberda J., Sires S.F., Feigenson L. Multiple spatially overlapping sets can be enumerated in parallel // *Psychological Science*. 2006. Vol. 17. No. 7. P. 572–576. doi:10.1111/j.1467-9280.2006.01746.x
- Huang L. Visual working memory is better characterized as a distributed resource rather than discrete slots // *Journal of Vision*. 2010. Vol. 10. No. 14. P. 8:1–8. doi:10.1167/10.14.8
- Im H.Y., Chong S.C. Mean size as a unit of visual working memory // *Perception*. 2014. Vol. 43. No. 7. P. 663–676. doi:10.1068/p7719
- Kane M.J., Conway A.R., Miura T.K., Colflesh G.J. Working memory, attention control, and the N-back task: a question of construct validity // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2007. Vol. 33. No. 3. P. 615–622. doi:10.1037/0278-7393.33.3.615
- Lee B., Harris J. Contrast transfer characteristics of visual short-term memory // *Vision Research*. 1996. Vol. 36. No. 14. P. 2159–2166. doi:10.1016/0042-6989(95)00271-5
- Luck S.J., Vogel E.K. The capacity of visual working memory for features and conjunctions // *Nature*. 1997. Vol. 390. No. 6657. P. 279–281. doi:10.1038/36846
- Luck S.J., Vogel E.K. Visual working memory capacity: From psychophysics and neurobiology to individual differences in cognitive ability // *Trends in Cognitive Sciences*. 2013. Vol. 17. No. 8. P. 391–400. doi:10.1016/j.tics.2013.06.006
- Luria R., Balaban H., Awh E., Vogel E.K. The contralateral delay activity as a neural measure of visual working memory // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2016. Vol. 62. P. 100–108. doi:10.1016/j.neubiorev.2016.01.003
- Ma W.J., Husain M., Bays P.M. Changing concepts of working memory // *Nature Neuroscience*. 2014. Vol. 17. No. 3. P. 347–356. doi:10.1038/nn.3655
- Markov Y., Utochkin I. The compression of bound features in visual short-term memory // *Journal of Vision*. 2016. Vol. 16. No. 12. P. 1071. doi:10.1167/16.12.1071
- McCullough A.W., Machizawa M.G., Vogel E.K. Electrophysiological measures of maintaining representations in visual working memory // *Cortex*. 2007. Vol. 43. No. 1. P. 77–94. doi:10.1016/S0010-9452(08)70447-7
- Miller G.A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information // *Psychological Review*. 1956. Vol. 63. No. 2. P. 81–97. doi:10.1037/h0043158
- Miller G.A., Galanter E., Pribram K.H. Plans and the structure of behavior. New York: Henry Holt, 1960. doi:10.1037/10039-000

Paivio A., Bleasdale F. Visual short-term memory: A methodological caveat // *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*. 1974. Vol. 28. No. 1. P. 24–31. [doi:10.1037/h0081973](https://doi.org/10.1037/h0081973)

Parkes L., Lund J., Angelucci A., Solomon J.A., Morgan M. Compulsory averaging of crowded orientation signals in human vision // *Nature Neuroscience*. 2001. Vol. 4. No. 7. P. 739–744. [doi:10.1038/89532](https://doi.org/10.1038/89532)

Pertsov Y., Bays P.M., Joseph S., Husain M. Rapid forgetting prevented by retrospective attention cues // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2013. Vol. 39. No. 5. P. 1224–1231. [doi:10.1037/a0030947](https://doi.org/10.1037/a0030947)

Pertsov Y., Dong M.Y., Peich M.-C., Husain M. Forgetting what was where: The fragility of object-location binding // *PLoS One*. 2012. Vol. 7. No. 10. P. e48214. [doi:10.1371/journal.pone.0048214](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048214)

Phillips W.A. On the distinction between sensory storage and short-term visual memory // *Perception & Psychophysics*. 1974. Vol. 16. No. 2. P. 283–290. [doi:10.3758/BF03203943](https://doi.org/10.3758/BF03203943)

Poltoratski S., Xu Y. The association of color memory and the enumeration of multiple spatially overlapping sets // *Journal of Vision*. 2013. Vol. 13. No. 8. P. 6:1–11. [doi:10.1167/13.8.6](https://doi.org/10.1167/13.8.6)

Posner M.I., Konick A.F. On the role of interference in short-term retention // *Journal of Experimental Psychology*. 1966. Vol. 72. No. 2. P. 221–231. [doi:10.1037/h0023458](https://doi.org/10.1037/h0023458)

Raffone A., Wolters G. A cortical mechanism for binding in visual working memory // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2001. Vol. 13. No. 6. P. 766–785. [doi:10.1162/08989290152541430](https://doi.org/10.1162/08989290152541430)

Ricker T.J., Cowan N. Loss of visual working memory within seconds: The combined use of refreshable and non-refreshable features // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2010. Vol. 36. No. 6. P. 1355–1368. [doi:10.1037/a0020356](https://doi.org/10.1037/a0020356)

Ricker T.J., Spiegel L.R., Cowan N. Time-based loss in visual short-term memory is from trace decay, not temporal distinctiveness // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2014. Vol. 40. No. 6. P. 1510–1523. [doi:10.1037/a0020356](https://doi.org/10.1037/a0020356)

Siegel M., Warden M.R., Miller E.K. Phase-dependent neuronal coding of objects in short-term memory // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2009. Vol. 106. No. 50. P. 21341–21346. [doi:10.1073/pnas.0908193106](https://doi.org/10.1073/pnas.0908193106)

Smith E.E., Jonides J., Koeppel R.A., Awh E., Schumacher E.H., Minoshima S. Spatial versus object working memory: PET investigations // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1995. Vol. 7. No. 3. P. 337–356. [doi:10.1162/jocn.1995.7.3.337](https://doi.org/10.1162/jocn.1995.7.3.337)

Sprague T.C., Ester E.F., Serences J.T. Reconstructions of information in visual spatial working memory degrade with memory load // *Current Biology*. 2014. Vol. 24. No. 18. P. 2174–2180. [doi:10.1016/j.cub.2014.07.066](https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.07.066)

Suchow J.W., Brady T.F., Fournie D., Alvarez G.A. Modeling visual working memory with the MemToolbox // *Journal of Vision*. 2013. Vol. 13. No. 10. P. 9:1–8. [doi:10.1167/13.10.9](https://doi.org/10.1167/13.10.9)

Super H., Spekreijse H., Lamme V.A. A neural correlate of working memory in the monkey primary visual cortex // *Science*. 2001. Vol. 293. No. 5527. P. 120–124. [doi:10.1126/science.1060496](https://doi.org/10.1126/science.1060496)

Ungerleider L.G., Courtney S.M., Haxby J.V. A neural system for human visual working memory // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1998. Vol. 95. No. 3. P. 883–890. [doi:10.1073/pnas.95.3.883](https://doi.org/10.1073/pnas.95.3.883)

Vogel E.K., Machizawa M.G. Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity // *Nature*. 2004. Vol. 428. No. 6984. P. 748–751. [doi:10.1038/nature02447](https://doi.org/10.1038/nature02447)

Vogel E.K., Woodman G.F., Luck S.J. Storage of features, conjunctions, and objects in visual working memory // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2001. Vol. 27. No. 1. P. 92–114. [doi:10.1037/0096-1523.27.1.92](https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.1.92)

Wei Z., Wang X.-J., Wang D.-H. From distributed resources to limited slots in multiple-item working memory: a spiking network model with normalization // *The Journal of Neuroscience*. 2012. Vol. 32. No. 33. P. 11228–11240. [doi:10.1523/JNEUROSCI.0735-12.2012](https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0735-12.2012)

Wheeler M.E., Treisman A.M. Binding in short-term visual memory // *Journal of Experimental Psychology: General*. 2002. Vol. 131. No. 1. P. 48–64. [doi:10.1037/0096-3445.131.1.48](https://doi.org/10.1037/0096-3445.131.1.48)

Wilken P., Ma W.J. A detection theory account of change detection // *Journal of Vision*. 2004. Vol. 4. No. 12. P. 1120–1135. [doi:10.1167/4.12.11](https://doi.org/10.1167/4.12.11)

Xu Y., Chun M.M. Dissociable neural mechanisms supporting visual short-term memory for objects // *Nature*. 2006. Vol. 440. No. 7080. P. 91–95. [doi:10.1038/nature04262](https://doi.org/10.1038/nature04262)

Zhang W., Luck S.J. Discrete fixed-resolution representations in visual working memory // *Nature*. 2008. Vol. 453. No. 7192. P. 233–235. [doi:10.1038/nature06860](https://doi.org/10.1038/nature06860)

Zhang W., Luck S.J. Sudden death and gradual decay in visual working memory // *Psychological Science*. 2009. Vol. 20. No. 4. P. 423–428. [doi:10.1111/j.1467-9280.2009.02322.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02322.x)

## review article

# Visual Working Memory: Methods, Research, Theory

**Igor S. Utochkin**

National Research University “Higher School of Economics”, Moscow, Russia

**Maria A. Yurevich**

National Research University “Higher School of Economics”, Moscow, Russia

**Maria E. Bulatova**

National Research University “Higher School of Economics”, Moscow, Russia

**Abstract.** This article reviews the research in visual working memory (VWM) over the past two decades. We describe research methodologies in the field and focus on commonly used paradigms such as change detection and continuous report (including the use of mixed models for analysis) that aim to measure the capacity and precision of VWM. We also consider the organization of units of storage in VWM; in particular, we describe feature binding and representing multiple objects as ensemble summary statistics. We review theories that try to explain the nature of VWM limitations: structural theories (slot-based), resource theories, hybrid theories (slot and resource theories), and a recently suggested hierarchical encoding theory. Theories aiming to explain forgetting mechanisms in VWM are reviewed. We also discuss the neural correlates of VWM encoding and storage, as well as neurophysiological models of VWM that are substantially influenced by the mentioned theories.

**Correspondence:** Igor S. Utochkin (corresponding author), [isutochkin@inbox.ru](mailto:isutochkin@inbox.ru); Psychology Department, Higher School of Economics, 46-B Volgogradsky Prospect, Room 321, 109316 Moscow, Russia. Maria A. Yurevich, [yurevichm@yandex.ru](mailto:yurevichm@yandex.ru); Maria E. Bulatova, [bulatovamaria@yandex.ru](mailto:bulatovamaria@yandex.ru)

**Keywords:** working memory, visual working memory, working memory capacity, representations, structural units, feature binding

**Copyright** © 2016. Igor S. Utochkin, Maria A. Yurevich, Maria E. Bulatova. 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.** This work is supported by the Russian Foundation for Basic Research (№15-06-07514).

Received 26 July 2016, accepted 27 September 2016.

## References

- Alloway, T.P., & Alloway, R.G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of Experimental Child Psychology*, 106(1), 20–29. [doi:10.1016/j.jecp.2009.11.003](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.11.003)
- Alvarez, G.A. (2011). Representing multiple objects as an ensemble enhances visual cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(3), 122–131. [doi:10.1016/j.tics.2011.01.003](https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.01.003)
- Alvarez, G.A., & Cavanagh, P. (2004). The capacity of visual short-term memory is set both by visual information load and by number of objects. *Psychological Science*, 15(2), 106–111. [doi:10.1111/j.0963-7214.2004.01502006.x](https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2004.01502006.x)
- Ariely, D. (2001). Seeing sets: Representation by statistical properties. *Psychological Science*, 12(2), 157–162. [doi:10.1111/1467-9280.00327](https://doi.org/10.1111/1467-9280.00327)
- Astle, D.E., Summerfield, J., Griffin, I., & Nobre, A.C. (2012). Orienting attention to locations in mental representations. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74(1), 146–162. [doi:10.3758/s13414-011-0218-3](https://doi.org/10.3758/s13414-011-0218-3)
- Attarha, M., Moore, C.M., & Vecera, S.P. (2014). Summary statistics of size: Fixed processing capacity for multiple ensembles but unlimited processing capacity for single ensembles. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(4), 1440–1449. [doi:10.1037/a0036206](https://doi.org/10.1037/a0036206)

- Awh, E., Barton, B., & Vogel, E.K. (2007). Visual working memory represents a fixed number of items regardless of complexity. *Psychological Science*, 18(7), 622–628. doi:10.1111/j.1467-9280.2007.01949.x
- Baddeley, A. (1986). *Working Memory*. Oxford, UK: Clarendon Press.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423. doi:10.1016/S1364-6613(00)01538-2
- Baddeley, A.D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47–89. doi:10.1016/S0079-7421(08)60452-1
- Bays, P.M. (2014). Noise in neural populations accounts for errors in working memory. *The Journal of Neuroscience*, 34(10), 3632–3645. doi:10.1523/jneurosci.3204-13.2014
- Bays, P.M. (2015). Spikes not slots: noise in neural populations limits working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(8), 431–438. doi:10.1016/j.tics.2015.06.004
- Bays, P.M., Catalao, R.F., & Husain, M. (2009). The precision of visual working memory is set by allocation of a shared resource. *Journal of Vision*, 9(10), 7:1–11. doi:10.1167/9.10.7
- Benaglia, T., Chauveau, D., Hunter, D., & Young, D. (2009). mixtools: An R package for analyzing finite mixture models. *Journal of Statistical Software*, 32(6), 1–29. doi:10.18637/jss.v032.i06
- Berryhill, M.E., Richmond, L.L., Shay, C.S., & Olson, I.R. (2012). Shifting attention among working memory representations: Testing cue type, awareness, and strategic control. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(3), 426–438. doi:10.1080/17470218.2011.604786
- Brady, T.F., & Alvarez, G.A. (2011). Hierarchical encoding in visual working memory: Ensemble statistics bias memory for individual items. *Psychological Science*, 22(3), 384–392. doi:10.1177/0956797610397956
- Brady, T.F., & Alvarez, G.A. (2015). No evidence for a fixed object limit in working memory: Spatial ensemble representations inflate estimates of working memory capacity for complex objects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(3), 921–929. doi:10.1037/xlm0000075
- Brady, T.F., Konkle, T., & Alvarez, G.A. (2011). A review of visual memory capacity: Beyond individual items and toward structured representations. *Journal of Vision*, 11(5), 4: 1–34. doi:10.1167/11.5.4
- Buschman, T.J., Siegel, M., Roy, J.E., & Miller, E.K. (2011). Neural substrates of cognitive capacity limitations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(27), 11252–11255. doi:10.1073/pnas.1104666108
- Constantinidis, C., & Wang, X.-J. (2004). A neural circuit basis for spatial working memory. *The Neuroscientist*, 10(6), 553–565. doi:10.1177/1073858404268742
- Cornelissen, F.W., & Greenlee, M.W. (2000). Visual memory for random block patterns defined by luminance and color contrast. *Vision Research*, 40(3), 287–299. doi:10.1016/S0042-6989(99)00137-6
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *The Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87–114. doi:10.1017/S0140525X01003922
- Donkin, C., Nosofsky, R., Gold, J., & Shiffrin, R. (2015). Verbal labeling, gradual decay, and sudden death in visual short-term memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(1), 170–178. doi:10.3758/s13423-014-0675-5
- Dubé, C., Zhou, F., Kahana, M.J., & Sekuler, R. (2014). Similarity-based distortion of visual short-term memory is due to perceptual averaging. *Vision Research*, 96, 8–16. doi:10.1016/j.visres.2013.12.016
- Fougnie, D., & Alvarez, G.A. (2011). Object features fail independently in visual working memory: Evidence for a probabilistic feature-store model. *Journal of Vision*, 11(12), 3: 1–12. doi:10.1167/11.12.3
- Fougnie, D., Asplund, C.L., & Marois, R. (2010). What are the units of storage in visual working memory? *Journal of Vision*, 10(12), 27: 1–11. doi:10.1167/10.12.27
- Fukuda, K., Vogel, E., Mayr, U., & Awh, E. (2010). Quantity, not quality: The relationship between fluid intelligence and working memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(5), 673–679. doi:10.3758/17.5.673
- Funahashi, S., Bruce, C.J., & Goldman-Rakic, P.S. (1989). Mnemonic coding of visual space in the monkey's dorsolateral prefrontal cortex. *Journal of Neurophysiology*, 61(2), 331–349. Retrieved from <http://jn.physiology.org/content/jn/61/2/331.full.pdf>.
- Haberman, J., & Whitney, D. (2012). Ensemble perception: Summarizing the scene and broadening the limits of visual processing. In J. Wolfe, & L. Robertson (Eds.), *From perception to consciousness: Searching with Anne Treisman* (pp. 339–349). New York: Oxford University Press.
- Halberda, J., Sires, S.F., & Feigenson, L. (2006). Multiple spatially overlapping sets can be enumerated in parallel. *Psychological Science*, 17(7), 572–576. doi:10.1111/j.1467-9280.2006.01746.x
- Huang, L. (2010). Visual working memory is better characterized as a distributed resource rather than discrete slots. *Journal of Vision*, 10(14), 8: 1–8. doi:10.1167/10.14.8
- Im, H.Y., & Chong, S.C. (2014). Mean size as a unit of visual working memory. *Perception*, 43(7), 663–676. doi:10.1068/p7719
- Kane, M.J., Conway, A.R., Miura, T.K., & Colflesh, G.J. (2007). Working memory, attention control, and the N-back task: a question of construct validity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(3), 615–622. doi:10.1037/0278-7393.33.3.615
- Lee, B., & Harris, J. (1996). Contrast transfer characteristics of visual short-term memory. *Vision Research*, 36(14), 2159–2166. doi:10.1016/0042-6989(95)00271-5
- Luck, S.J., & Vogel, E.K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279–281. doi:10.1038/36846
- Luck, S.J., & Vogel, E.K. (2013). Visual working memory capacity: From psychophysics and neurobiology to individual differences in cognitive ability. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(8), 391–400. doi:10.1016/j.tics.2013.06.006
- Luria, R., Balaban, H., Awh, E., & Vogel, E.K. (2016). The contralateral delay activity as a neural measure of visual working memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 62, 100–108. doi:10.1016/j.neubiorev.2016.01.003
- Ma, W.J., Husain, M., & Bays, P.M. (2014). Changing concepts of working memory. *Nature Neuroscience*, 17(3), 347–356. doi:10.1038/nn.3655
- Markov, Y., & Utochkin, I. (2016). The compression of bound features in visual short-term memory. *Journal of Vision*, 16(12), 1071. doi:10.1167/16.12.1071
- McCullough, A.W., Machizawa, M.G., & Vogel, E.K. (2007). Electrophysiological measures of maintaining representations in visual working memory. *Cortex*, 43(1), 77–94. doi:10.1016/S0010-9452(08)70447-7
- Miller, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97. doi:10.1037/h0043158
- Miller, G.A., Galanter, E., & Pribram, K.H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York: Henry Holt. doi:10.1037/10039-000
- Paivio, A., & Bleasdale, F. (1974). Visual short-term memory: A methodological caveat. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*, 28(1), 24–31. doi:10.1037/h0081973
- Parkes, L., Lund, J., Angelucci, A., Solomon, J.A., & Morgan, M. (2001). Compulsory averaging of crowded orientation signals in human vision. *Nature Neuroscience*, 4(7), 739–744. doi:10.1038/89532
- Pertsov, Y., Bays, P.M., Joseph, S., & Husain, M. (2013). Rapid forgetting prevented by retrospective attention cues. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(5), 1224–1231. doi:10.1037/a0030947

- Pertsov, Y., Dong, M.Y., Peich, M.-C., & Husain, M. (2012). Forgetting what was where: The fragility of object-location binding. *PLoS One*, 7(10), e48214. doi:10.1371/journal.pone.0048214
- Phillips, W.A. (1974). On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception & Psychophysics*, 16(2), 283–290. doi:10.3758/BF03203943
- Poltoratski, S., & Xu, Y. (2013). The association of color memory and the enumeration of multiple spatially overlapping sets. *Journal of Vision*, 13(8), 6: 1–11. doi:10.1167/13.8.6
- Posner, M.I., & Konick, A.F. (1966). On the role of interference in short-term retention. *Journal of Experimental Psychology*, 72(2), 221–231. doi:10.1037/h0023458
- Raffone, A., & Wolters, G. (2001). A cortical mechanism for binding in visual working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(6), 766–785. doi:10.1162/08989290152541430
- Ricker, T.J., & Cowan, N. (2010). Loss of visual working memory within seconds: The combined use of refreshable and non-refreshable features. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(6), 1355–1368. doi:10.1037/a0020356
- Ricker, T.J., Spiegel, L.R., & Cowan, N. (2014). Time-based loss in visual short-term memory is from trace decay, not temporal distinctiveness. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40(6), 1510–1523. doi:10.1037/a0020356
- Siegel, M., Warden, M.R., & Miller, E.K. (2009). Phase-dependent neuronal coding of objects in short-term memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(50), 21341–21346. doi:10.1073/pnas.0908193106
- Smith, E.E., Jonides, J., Koeppe, R.A., Awh, E., Schumacher, E.H., & Minoshima, S. (1995). Spatial versus object working memory: PET investigations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7(3), 337–356. doi:10.1162/jocn.1995.7.3.337
- Sprague, T.C., Ester, E.F., & Serences, J.T. (2014). Reconstructions of information in visual spatial working memory degrade with memory load. *Current Biology*, 24(18), 2174–2180. doi:10.1016/j.cub.2014.07.066
- Suchow, J.W., Brady, T.F., Fougner, D., & Alvarez, G.A. (2013). Modeling visual working memory with the MemToolbox. *Journal of Vision*, 13(10), 9: 1–8. doi:10.1167/13.10.9
- Super, H., Spekreijse, H., & Lamme, V.A. (2001). A neural correlate of working memory in the monkey primary visual cortex. *Science*, 293(5527), 120–124. doi:10.1126/science.1060496
- Ungerleider, L.G., Courtney, S.M., & Haxby, J.V. (1998). A neural system for human visual working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(3), 883–890. doi:10.1073/pnas.95.3.883
- Vogel, E.K., & Machizawa, M.G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428(6984), 748–751. doi:10.1038/nature02447
- Vogel, E.K., Woodman, G.F., & Luck, S.J. (2001). Storage of features, conjunctions, and objects in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(1), 92–114. doi:10.1037/0096-1523.27.1.92
- Wei, Z., Wang, X.-J., & Wang, D.-H. (2012). From distributed resources to limited slots in multiple-item working memory: a spiking network model with normalization. *The Journal of Neuroscience*, 32(33), 11228–11240. doi:10.1523/JNEUROSCI.0735-12.2012
- Wheeler, M.E., & Treisman, A.M. (2002). Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131(1), 48–64. doi:10.1037/0096-3445.131.1.48
- Wilken, P., & Ma, W.J. (2004). A detection theory account of change detection. *Journal of Vision*, 4(12), 1120–1135. doi:10.1167/4.12.11
- Xu, Y., & Chun, M.M. (2006). Dissociable neural mechanisms supporting visual short-term memory for objects. *Nature*, 440(7080), 91–95. doi:10.1038/nature04262
- Zhang, W., & Luck, S.J. (2008). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. *Nature*, 453(7192), 233–235. doi:10.1038/nature06860
- Zhang, W., & Luck, S.J. (2009). Sudden death and gradual decay in visual working memory. *Psychological Science*, 20(4), 423–428. doi:10.1111/j.1467-9280.2009.02322.x

# Международная летняя школа по аффективным наукам

**Юлия А. Кожухова**

Институт психологии РАН, Москва, Россия

**Аннотация.** 7–14 июля в Шато де Боссе (Швейцария) прошла международная летняя школа по аффективным наукам (International Summer School in Affective Sciences — ISSAS). Школа проводится с 2009 года при поддержке Национального исследовательского центра «Аффективные науки» (The National Center of Competence in Research Affective Sciences (NCCR)) и каждый раз затрагивает интересные аспекты аффективных и когнитивных исследований. В этом году школа была посвящена изучению эмоций в контексте художественных произведений и виртуальной реальности (“Emotions, fictions, and virtual worlds”). В течение недели ведущие специалисты в области экспериментальной психологии, клинической психологии, дизайна компьютерных игр, а также философы и артисты обсуждали, как виртуальную реальность можно использовать для проведения научных исследований, для развития умений и навыков и для моделирования эмоций. В школе приняли участие 40 студентов, аспирантов и молодых кандидатов наук, а также 42 представителя преподавательского состава. Данный обзор может быть интересен тем, кто хочет кратко узнать о современных направлениях исследования эмоций.

**Контактная информация:** Юлия А. Кожухова, [yuliyak@list.ru](mailto:yuliyak@list.ru); ул. Ярославская, д.13, Институт психологии РАН, 129366 Москва, Россия.

**Ключевые слова:** эмоции, виртуальная реальность, когнитивная наука, аффективная наука, обзор летней школы

© 2016 Юлия А. Кожухова. Данная статья доступна по лицензии [Creative Commons “Attribution”](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) («Атрибуция») 4.0. всемирная, 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 выражает свою признательность Д.В. Люсину за помощь при подготовке к поездке на школу и ценные комментарии по тексту обзора и Л. Ромбоут за предоставленные фотографии.

Статья поступила в редакцию 15 августа 2016 г. Принята в печать 30 сентября 2016 г.

Когнитивная наука — это междисциплинарное направление, у истоков которого стояло несколько научных дисциплин, таких как лингвистика, искусственный интеллект, философия, нейрофизиология, психология и культурная антропология. Объединяя знания, накопленные в каждой из дисциплин, и выстраивая междисциплинарное взаимодействие, когнитивная наука пытается ответить на фундаментальные вопросы о познании человека, а также о том, как человек понимает сам себя и окружающий его мир.

На данный момент когнитивная наука не ограничивается только изучением познания, в ее составе появляются новые направления на стыке с исследовательскими областями, изначально не входившими в состав дисциплин когнитивного цикла. Например, в когнитивных исследованиях недавно начал проявляться интерес к изучению аффективных детерминант познавательных процессов, то есть влияния эмоционального

состояния человека на его когнитивные процессы, такие как память и внимание, и т.д. Эта новая область исследований включила в себя такие дисциплины, как когнитивная психология, нейронаука, психология, социология, психиатрия, антропология, экономика, история, лингвистика, философия. Основной задачей новой аффективной науки стало междисциплинарное исследование эмоциональных процессов. Ее представители пытаются ответить на вопросы относительно того, что мы понимаем под эмоциями, какими инструментами мы можем их измерять, а также как эмоции соотносятся с нашими предпочтениями и ценностями.

Междисциплинарная область аффективной науки зародилась еще в 1980-х годах, когда было основано Международное общество по изучению эмоций (International Society for Research on Emotion, ISRE) (Gross & Barrett, 2013). Общество создавалось вслед за потребностью объединить междисциплинарные

и международные интересы исследователей. Основными целями сообщества стали обеспечение среды для обмена информацией, стимулирование критического обсуждения новых идей и поддержка исследований в области эмоций. Данное общество направлено на развитие сотрудничества и новых направлений исследований, а также участвует в организации семинаров и конференций.

На данный момент в обществе представлены страны Европы и Северной Америки. Встречи общества проходят каждые два года, последняя встреча состоялась в 2015 году в Женеве (Швейцария), а в 2013 году проходила в Беркли (США, штат Калифорния). Совместно с издательством SAGE с 2009 года общество по изучению эмоций выпускает ежеквартальный журнал "Emotion Review".

В 2012 году было основано второе международное научное общество по аффективной науке (Society for Affective Science, SAS). Его основная цель — развитие фундаментальных и прикладных исследований в различных областях, которые изучают эмоции. Конференции данного сообщества проводятся каждый год и открыты для представителей смежных областей. Первая конференция прошла в 2014 году в США (Бетесда, Мэриленд).

Также в Швейцарии был организован Национальный исследовательский центр «Аффективные науки» (The National Center of Competence in Research Affective Sciences (NCCR)), который занимается междисциплинарным изучением эмоций и их влиянием на поведение человека и общества. В 2012 году директором Национального исследовательского центра стал Давид Сандер (David Sander).

Национальный исследовательский центр «Аффективные науки» находится на базе Женевского университета и на сегодняшний день объединяет более 100 исследователей из различных дисциплин и университетов. Некоторые исследователи могли слышать об этом центре, так как именно там была разработана база изображений GAPED (The Geneva affective picture database), которая широко используется в исследованиях эмоций (Dan-Glauser, Scherer, 2011).

Ежегодно Национальный центр организует международные школы для молодых преподавателей и аспирантов, создавая уникальную возможность междисциплинарного сотрудничества. Первая школа по аффективным наукам предлагала обзор современных тенденций в исследованиях эмоций, в то время как последующие школы касались конкретных тем, таких как регуляция эмоций (2010 год), выражение эмоций при коммуникации (2011 год), эстетические эмоции (2012 год), эмоции и мораль (2013 год), эмоции и действия (2014 год). В 2016 году Национальный центр традиционно организовал школу для аспирантов и молодых исследователей из разных дисциплин. В этот раз школа была посвящена изучению эмоций в контексте художественных произведений и виртуальной реальности ("Emotions, fictions, and virtual worlds").

Акцент был сделан на междисциплинарность. Основная программа включала в себя четыре части: лекции, которые были тематически разбиты на все дни школы, практические семинары, которые

включали в себя непосредственное взаимодействие в группах, а также проектная работа и театральные представления.

Важной частью летней школы была возможность ежедневно после лекционной и практической части работать в небольших проектных группах (фото 2). Отбор в группы проходил заранее, все темы касались, так или иначе, взаимодействия виртуальной реальности и эмоциональных процессов. После индивидуального выбора темы организаторы разбили всех участников на группы по 5–6 человек, и в каждой группе обязательно были нейрофизиологи, психологи, философы и клинические психологи. Во время проектной работы участники должны были не только тщательно продумать будущий проект исследования, но и имели возможность получить консультацию у преподавателей (фото 3). Примерные темы для участников были следующие: какой междисциплинарный подход можно предложить для исследования ощущения присутствия в виртуальной реальности и погруженности в нее; каким образом можно исследовать влияние виртуальной реальности на развитие эмоциональной регуляции; каким образом можно использовать виртуальную реальность для лечения конкретного психического расстройства?

В первый день участникам были предложены лекции приглашенных философов, работающих в области философии эмоций. В этих лекциях был поставлен ряд важнейших вопросов. Как мы можем изучать эмоциональную реакцию людей на литературные произведения и компьютерные игры. Что может происходить с нами в виртуальной реальности? Это работа нашего воображения? Каким образом теория воображения поможет нам понять особенности нашего взаимодействия с видеоиграми и фантастическими сюжетами? Как мы можем изучить наше отношение к ним? (Aaron Meskin "Imagination, Emotions, Interactivity and Videogames"; Derek Matravers "Fiction and Narrative").

Очень интересным было практическое занятие, которое тоже было предложено специалистами в области философии эмоций из университета Женевы (Margherita Archangeli and Florian Cova "How to do philosophy with thought experiments?"). Они предложили нам разобраться в том, что такое мысленный эксперимент и в чем различие между мысленными экспериментами в философии и экспериментами в других областях.

Многим известен мысленный эксперимент Фрэнка Джексона «Комната Мэри» (англ. Mary's Room). Джексон предлагал мысленно поместить героиню своего эксперимента в черно-белую комнату, в которой она провела всю свою жизнь (Jackson, 1986), изучая проблемы цветовосприятия. Вопрос был в следующем: если допустить, что Мэри знает о цвете всё, то когда она выйдет из комнаты и увидит его своими глазами, узнает ли она что-то новое? Также в когнитивной психологии известен другой мысленный эксперимент, который был предложен Джоном Серлем и получил название «Китайская комната» (англ. Chinese room) (Searle, 1980).

Из области исследования эмоций нам был предложен мысленный эксперимент американского философа Роберта Нозика «Машина по производству лич-

ного опыта» (англ. Experience Machine) (Nozick, 1974). Допустим, что появляется машина, которая может создать абсолютно любое переживание. Психологи могут стимулировать мозг с помощью этой машины таким образом, чтобы вызывать переживания, не отличимые от тех, которые человек получает в реальной жизни. Например, можно стимулировать переживания, связанные с тем, что вы написали книгу или с кем-то познакомились. В связи с этим встает вопрос: что бы мы предпочли — получать переживания искусственным образом или в реальной жизни?

После того как были рассмотрены мысленные эксперименты в различных областях, нам было предложено разработать свой мысленный эксперимент. Например, согласно нормам морали, неправильно лгать независимо от обстоятельств, но участники должны были разработать мысленный эксперимент, который доказывал бы это утверждение или опровергал.

Таким образом, в первый день участники школы получили представление о том, что изучают философы и какие методы используют, а также как мы можем использовать те инструменты, которые есть в философии, для изучения эмоций и как мысленные эксперименты помогут создать новые теории и выявить недостатки и противоречия существующих теорий.

Отдельно хочется отметить лекцию Джонатана Гратча (Jonathan Gratch “A brief history of 15 years of affective computing research”), профессора Университета Южной Калифорнии и Института креативных технологий, которая состоялась во второй день. Он представил краткий экскурс в такую область исследований, как компьютерное моделирование эмоций (англ. affective computing). Это новая исследовательская область, ставящая своей целью создание технологий, которые распознают, интерпретируют и имитируют эмоции человека.

Дж. Гратч в своей лекции ставил следующие вопросы: Может ли машина понять человеческие эмоции? Может ли машина интерпретировать эмоциональное состояние человека и приспособить свое поведение к нему? И наоборот, будут ли влиять эмоциональные проявления машин на их взаимодействие с людьми?

Эксперименты, проводимые в лаборатории Дж. Гратча, построены таким образом, что испытуемому предлагается взаимодействовать с виртуальным соперником в игре. Например, участникам эксперимента предлагали задачу по типу дилеммы узника. Далее исследователи изучали, доверяют ли испытуемые виртуальным соперникам, которые не выражают эмоций.

Один из полученных выводов состоит в том, что если виртуальный соперник демонстрирует улыбку и при этом использует конкурентную стратегию, то это вызывает у испытуемого негативные эмоции по сравнению с тем, когда виртуальный соперник улыбается и использует кооперативную стратегию.

Отдельный день был посвящен теме эффекта погружения в виртуальный мир (“Emotions and immersion in virtual worlds”). В этой секции особенно интересными были два доклада. Первый, представленный Альбертом Риццо из Института креативных технологий Университета Южной Калифорнии, назывался «Клиническая

виртуальная реальность. Краткий обзор будущего!» (Albert “Skip” Rizzo: “Clinical virtual reality: A brief review of the future!”). Участникам школы были представлены технологии, которые используются в качестве симуляторов при подготовке врачей, для обучения в военных школах и при лечении посттравматического стрессового расстройства.

Второй была лекция профессора Университета Торонто Уильяма Каннингема «Вычислительная аффективная нейронаука» (William Cunningham “Computational affective neuroscience”; см. фото 1). Начал он свое выступление с важного и дискуссионного вопроса «А что такое вообще эмоции?», так как психологическая наука до сих пор не может дать согласованного определения того, что мы подразумеваем под словом «эмоции». Анализируя понятия «эмоция» и «аффект», У. Каннингем использует вычислительный подход в когнитивной психологии и показывает, как данный подход может применяться для изучения эмоций.

Им предложена модель итеративной переработки (англ. Iterative Reprocessing Model), которая предлагает рассматривать «эмоции» как сложный процесс, состоящий, в свою очередь, из элементарных процессов, которые запускают друг друга. Соответственно, человек в каждый момент времени испытывает не конкретную эмоцию, а переживает постоянное изменение эмоционального состояния. У. Каннингем делает акцент на том, что мы не можем выделить отдельные факторы, которые влияют на наше эмоциональное со-



**Фото 1.** Лекция Уильяма Каннингема «Вычислительная аффективная нейронаука» (William Cunningham, “Computational affective neuroscience”). Фото Юлии Кожуховой



**Фото 2.** Работа участников в проектах.  
Фото Лизы Ромбоут  
(Lisa Rombout)



**Фото 3.** Дискуссия участников школы с преподавателем Дерекком Матраверсом (Derek Matravers, Professor of Philosophy at The Open University and a Senior Member of Darwin College, Cambridge).  
Фото Лизы Ромбоут  
(Lisa Rombout)

стояние, поскольку это динамический процесс, и оно постоянно меняется, и нам необходимо учитывать это, а также понять, как мы можем это фиксировать экспериментально.

Отдельный день был посвящен целиком компьютерным играм. Перед участниками школы выступили такие специалисты, как Сьюзен Риверс (Susan Rivers), которая со своими коллегами в рамках проекта «iThrive» занимается созданием игры для детей, с помощью которой они планируют развивать эмоциональный интеллект. Она рассказала про то, о чем должен задуматься любой исследователь, который хочет использовать видеоигры в экспериментах или при обучении.

Например, почему должна быть использована именно компьютерная игра, какие у нее преимущества и недостатки? Как мы сможем увлечь ребенка игрой? «Игра — это головоломка, которую мы решаем, и с помощью нее выявляем основные закономерности и пы-

таемся их понять. Единственное различие между игрой и реальностью состоит в том, что в играх ставки ниже» (Koster, 2004, p. 34). Когда мы пытаемся создать игру, то должны помнить о трех составляющих: механика игры, динамика и эстетика. И если мы как создатели игры начинаем проектирование с механики, то надо не забывать о том, что дети, которые будут в нее играть, вначале будут обращать внимание на эстетику игры, поэтому мы должны продумать то, как будем их вовлекать.

Завершающим мероприятием стала защита проектов, которые готовились участниками в течение всей школы. У жюри были следующие критерии для оценки проектов: оригинальность и новизна исследования, междисциплинарность, оригинальность использованных методов, и конечно, самыми важными критериями были актуальность и востребованность результатов. Первое место получил проект, авторы которого попытались ответить на следующий вопрос: «Как можно ис-

пользовать виртуальную реальность, чтобы улучшить процесс регуляции эмоций и самооценку?». Участники данной группы придумали игру, которая направлена на то, чтобы повысить самооценку у подростков.

В моей проектной группе мы разработали игру «EmoShawn», которая помогала бы детям научиться лучше распознавать эмоции (EmoShawn: An Interactive Emotion Recognition and Labeling Computer Game). Нами был представлен обзор того, какие игры уже существуют, а также какие у них бывают ограничения. Например, большинство игр разрабатывается для детей с расстройствами аутистического спектра. Мы представили подробный план исследования, описание выборки, сценарий игры, предполагаемые результаты.

Данная школа позволила познакомиться с различными исследователями в области изучения эмоций, а также дала участникам возможность поработать с коллегами из разных направлений в совместном проекте. В будущем мы планируем продолжить работать над проектом, который разрабатывала наша мини-группа. Было интересно узнать, как можно ис-

пользовать виртуальную реальность для изучения эмоциональных процессов и для проведения экспериментальных исследований, что сейчас является очень популярным.

## Литература

Dan-Glauser E.S., Scherer K.R. The Geneva affective picture database (GAPED): a new 730-picture database focusing on valence and normative significance // *Behavior Research Methods*. 2011. Vol. 43. No 2. P. 468–477. [doi:10.3758/s13428-011-0064-1](https://doi.org/10.3758/s13428-011-0064-1)

Gross J.J., Barrett L.F. The emerging field of affective science // *Emotion*. 2013. Vol. 13. No 6. P. 997–998. [doi:10.1037/a0034512](https://doi.org/10.1037/a0034512)

Jackson F. What Mary didn't know // *The Journal of Philosophy*. 1986. Vol. 83. No 5. P. 291–295. [doi:10.2307/2026143](https://doi.org/10.2307/2026143)

Koster R. *Theory of fun for game design*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc., 2004.

Nozick R. *Anarchy, state, and utopia*. New York: Basic books, 2013.

Searle J.R. Minds, brains, and programs // *Behavioral and Brain Sciences*. 1980. Vol. 3. No 3. P. 417–424. [doi:10.1017/s0140525x00005756](https://doi.org/10.1017/s0140525x00005756)

## current events in the field

# The International Summer School in Affective Sciences

**Yulia A. Kozhukhova**

Laboratory of Psychology and Psychophysiology of Creativity, Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences

**Abstract.** The International Summer School on Affective Sciences (ISSAS) was held at the Chateau de Bosse (Switzerland) from July 7 to July 14, 2016 with the support of the National Center of Competence in Research Affective Sciences (NCCR). This year, the focus was on the study of emotions in the context of art and virtual reality (Emotions, Fictions, and Virtual Worlds). The school was attended by 40 young researchers and PhD students from a variety of disciplines and 42 professors. This review may be of interest to those who want to briefly learn about the affective sciences.

**Correspondence:** Yulia A. Kozhukhova, [yuliyak@list.ru](mailto:yuliyak@list.ru); 13, Yaroslavskaya str., Institute of Psychology RAS, 129366 Moscow, Russia

**Keywords:** emotions, virtual reality, cognitive science, affective science, summer school

**Copyright** © 2016. Yulia A. Kozhukhova. 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.** The author is thankful to Dmitry Lyusin for advice and support during application for the Summer School, and for the valuable comments on the text of the present review. The author is indebted to Lisa Rombout for provided photos.

Received 15 August 2016, accepted 30 September 2016.

## References

- Dan-Glauser, E.S., & Scherer, K.R. (2011). The Geneva affective picture database (GAPED): a new 730-picture database focusing on valence and normative significance. *Behavior Research Methods*, 43(2), 468–477. [doi:10.3758/s13428-011-0064-1](#)
- Gross, J.J., & Barrett, L.F. (2013). The emerging field of affective science. *Emotion*, 13(6), 997–998. [doi:10.1037/a0034512](#)
- Jackson, F. (1986). What Mary didn't know. *The Journal of Philosophy*, 83(5), 291–295. [doi:10.2307/2026143](#)
- Koster, R. (2004). *Theory of fun for game design*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc.
- Nozick, R. (2013). *Anarchy, state, and utopia*. New York: Basic books.
- Searle, J.R. (1980). Minds, brains, and programs. *Behavioral and Brain Sciences*, 3(3), 417–424. [doi:10.1017/S0140525X00005756](#)

**■ научная жизнь ■**

# Седьмая международная конференция по когнитивной науке глазами психолога и психофизиолога

**Александра Лунева**

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия

**Илья Талалай**

Институт возрастной физиологии РАО, Москва, Россия

**Аннотация.** Седьмая международная конференция по когнитивной науке проходила 20–24 июня 2016 года в г. Светлогорске (Калининградская область). На конференции были представлены различные направления в области когнитивной науки от нейробиологии информационных процессов до лингвистики. Эта хроника — краткий рассказ когнитивного психолога и психофизиолога о ключевых событиях конференции и об основных темах исследований, представленных в устных и стендовых докладах.

**Контактная информация:** Александра Лунева, [lunevalexandra@mail.ru](mailto:lunevalexandra@mail.ru); ЯрГУ им. П.Г. Демидова, Факультет психологии, пр-д Матросова, 9, к. 204, 150057 Ярославль, Россия; Илья Талалай, [etalalay.et@gmail.com](mailto:etalalay.et@gmail.com).

**Ключевые слова:** когнитивная наука, отчет о конференции, нейронаука, когнитивная психология, междисциплинарные исследования

© 2016 Александра Лунева, Илья Талалай. 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.

Статья поступила в редакцию 21 сентября 2016 г. Принята в печать 30 сентября 2016 г.

20–24 июня в городе Светлогорске Калининградской области прошла Седьмая международная конференция по когнитивной науке. Конференция проводится каждые два года, она была продолжением серии конференций по когнитивной науке, которые ранее состоялись в Казани (2004), Санкт-Петербурге (2006), Москве (2008), Томске (2010) и Калининграде (2012, 2014). В этом году организаторами конференции были Межрегиональная ассоциация когнитивных исследований (МАКИ), Межрегиональный общественный фонд «Центр развития межличностных коммуникаций» и Балтийский федеральный университет им. И. Канта. В конференции приняли участие около 450 человек, представлявших разные города России и зарубежные страны.

Конференцию открыл доклад президента МАКИ — К.В. Анохина (НИЦ «Курчатовский институт», Москва), в нем речь шла о проблеме создания тео-

рии, описывающей соотношения мозга и разума начиная с исторических перспектив рассмотрения данного вопроса до современных взглядов. Перед данной теорией стоит множество задач, основной из которых является ответ на естественнонаучные вопросы о разуме и сознании как о свойствах живых систем.

По мнению К.В. Анохина, современные нейрофизиологические теории разума и сознания несовершенны, поскольку основаны на редукционных (терминология лектора) или коррелятивных подходах. Теория соотношения мозга и разума должна описывать субъективный опыт как фундаментальный феномен, возникающий лишь на определенных уровнях эволюции. В лекции была представлена гиперсетевая теория мозга (ГСТМ), которая базируется на представлениях о сетевой природе как мозга, так и разума, и представлении о разуме как о гиперсети мозга — многослойной



**Фото 1.** Участники на открытии конференции. Фото Андрея Кибрика

сети нейронных сетей. Разум как макроструктура мозга имеет свои специфические элементы и процессы, фундаментальные для него и не сводимые к описанию на языке нижнего, нейрофизиологического и нейроанатомического уровня. Фундаментальные проблемы познания, затронутые в лекции, вызвали большой интерес аудитории и были удачным началом конференции, ориентированной на многоуровневый анализ когнитивных процессов.

В докладе Б.М. Величковского (НИЦ «Курчатовский институт», Москва) на первой секции «Теория и методология когнитивной науки-1», которая прошла после лекции президента МАКИ, также подчеркивалась многоуровневая иерархическая организация когнитивных процессов. Основное внимание было уделено анализу методологии когнитивных исследований в исторической перспективе и на современном этапе развития когнитивной науки.

Завершением дня стал торжественный фуршет в Музее мирового океана. Сам музей приятно удивил участников конференции множеством уникальных экзотических экспонатов — предметов культуры и быта жителей островов Океании.

Во второй день перед участниками уже стояла проблема выбора, поскольку доклады были разделены по секциям, представляющим широкий спектр направлений когнитивных исследований: «Когнитивные технологии» (см. также видеозапись второй части секции), «Нейродинамика когнитивных процессов», «Язык и когнитивные структуры», «Онтогенез когнитивных структур», «Восприятие и внимание», «Социокультурное и кросскультурное исследование когнитивных процессов», «Эмоции и коммуникации» (см. также видеозапись второй части), «Научение и память».

Мы посетили секцию «Нейродинамика когнитивных процессов», на которой доклады участников крайне заинтересовали аудиторию, вызвав достаточно

большое количество вопросов и оживленную дискуссию. Особенно интересным показался доклад С.Б. Парина (Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского) об особенностях вегетативного обеспечения когнитивных процессов при редукции функций эндогенной опиоидной системы (ЭОС) у людей с наркотической зависимостью. По результатам двух серий экспериментов авторами были выявлены особенности когнитивной деятельности при нарушении функций ЭОС. В целом наблюдаемая у наркозависимых пациентов редукция ЭОС ведет к повышению чувствительности и быстроты действия сенсорных модулей, но существенно замедляет моторные компоненты активности и снижает адаптивность вегетативной регуляции.

После секции по нейродинамике когнитивных процессов мы выбрали секцию «Восприятие и внимание». Особенно запоминающимся стал доклад Б.Дж. Роджерса (СПбГУ (Санкт-Петербург), Оксфордский Университет) «Delusions about Illusions — a critique of the illusion concept», в котором он представлял критику понятия иллюзии. Он говорил о том, что мы проводим грань между истинным и иллюзорным восприятием, утверждая, что в первом случае наши представления соотносятся с физической реальностью, тогда как во втором случае имеется несоответствие между ними. Тем не менее не совсем понятно, каким образом мы определяем, что такое «физическая реальность». Возможным решением проблемы о том, что же представляет собой «реальность», должно быть определение иллюзии как несоответствия между информацией, содержащейся в пространственно-временной организации световых пятен на сетчатке и того, что именно мы воспринимаем. Однако, по мнению докладчика, информация должна определяться относительно конкретного организма и его сенсорной системы. Все наше восприятие зависит от того, как работают наши специфические сенсорные системы и,

следовательно, не может быть никакого различия между теми аспектами восприятия, которые мы обычно отмечаем как иллюзии, и теми, которые не рассматриваются как иллюзии.

Секцию «Научение и память» открывал доклад В.М. Аллахвердова (СПбГУ, Санкт-Петербург) о научении и типах когнитивного контроля. Он собрал огромное количество слушателей, для которых даже не хватило места в аудитории, так что некоторым участникам приходилось слушать доклад стоя у входа. Слушателям этой секции не удалось «расслабиться» и на следующем докладе, который представил Ю.И. Александров (Институт психологии РАН, Москва). Доклад с интригующим названием «Регрессия» был посвящен феномену перехода поведения к более простым недифференцированным формам, которые свойственны более ранним этапам развития. Возникать регрессия в поведении человека может по разным причинам: при стрессе, разнообразных заболеваниях, сильных эмоциях, алкогольной интоксикации. Однако функциональный смысл и механизмы этого феномена изучены очень мало. Анализ регрессии с позиции системной психофизиологии, представленный в докладе, убедительно свидетельствовал, что, несмотря на очевидную отрицательную коннотацию самого слова «регрессия», переход к более примитивной и менее дифференцированной форме активности является не нарушением развития системы, а приспособительным механизмом, позволяющим вернуться от специализированных и совершенных форм поведения к менее специализированным (а следовательно, потенциально более пластичным) в изменяющихся условиях, когда прежние модели поведения становятся неэффективными либо не могут быть реализованы. Доклад Ю.И. Александрова был построен на принципах многоуровневого анализа, основанного на использовании методов и понятий различных наук (от генетики до социальной психологии) в рамках одного исследования. Многоуровневый анализ позволил автору расширить доказательную базу своей концепции регрессии, а слушателям лучше почувствовать логику рассуждений и понять суть предлагаемой концепции. Хотелось бы отметить, что многоуровневый подход был представлен во многих докладах и лекциях конференции, что, по-видимому, отражает современную тенденцию развития когнитивной науки.

На секции «Эмоции и коммуникации» хочется отметить доклад Арт.А. Котова (авторы: Арт.А. Котов, А.А. Зинина, Л.Я. Зайдельман (НИЦ «Курчатовский институт», Москва), А.А. Филатов (Samsung R&D Institute Rus, Москва)) о когнитивной архитектуре понимающего робота — искусственного компьютерного агента, который демонстрировал бы признаки понимания на уровне вербального и невербального поведения. Разрабатываемая авторами доклада система получает на вход текст на естественном языке. Далее строится синтаксическое и семантическое представление текста, на основе которого центральный компонент системы выбирает один из 13 негативных или 23 позитивных эмоциональных сценариев поведения робота. Само поведение робота описывается на специальном языке Behavior Mark-up Language (BML) и включает высказывания на русском языке и жесты, которые сопоставляются с разными сценариями на основе данных

русского эмоционального корпуса, созданием которого в течение многих лет занимается тот же коллектив авторов. Видеодемонстрация «депрессивного» робота, перебирающего негативные эмоциональные сценарии коммуникации (робот находится в опасности, его кто-то обманывает, он никому не нужен и т.п.), вызвала аплодисменты слушателей и множество вопросов со стороны аудитории.

Оба дня конференции завершали постерные секции, на которых обсуждался широкий круг проблем лингвистики, психологии мышления и нейропсихологии когнитивных процессов. Многие постерные доклады представляли междисциплинарные исследования когнитивных процессов и содержали новые интересные данные и оригинальные методические решения. Хотя погода была очень хорошая и слушатели уже несколько устали от секционных докладов, на постерных сессиях было много народа, а чтобы подойти к некоторым стендам, даже нужно было постоять в очереди. Наибольший интерес традиционно вызывали работы, в которых лингвистический анализ сочетался с фМРТ-исследованием мозга.

Третий день конференции запомнился первой пленарной лекцией Фридемана Пульвермюллера (Свободный университет Берлина). По мнению многих слушателей, эта лекция стала одним из центральных событий конференции. Она была посвящена одной из самых актуальных проблем когнитивной науки — проблеме локализации когнитивных функций в мозге. Как заметил автор, иногда на вопрос, где находится локус той или иной когнитивной функции, дают ответ, выделяя конкретную область, извилину или борозду. Однако остаются сомнения касательно того, могут ли сложные когнитивные процессы иметь столь конкретную ассоциацию с участками мозга. Ф. Пульвермюллер представил аудитории очень логичное, экспериментально обоснованное и многогранное представление о мозговой «локализации» речевых процессов, которое восходит к идеям Дональда Хебба и согласно которому мозговой основой речевых функций являются распределенные нейронные сети («ансамбли» в терминологии Хебба). Такое представление о мозговой организации речи подтверждается как математическим моделированием (neurocomputational studies), так и эмпирическими исследованиями активности мозга. В нейровычислительных исследованиях было показано, что при использовании нейронных сетей, созданных на основе модели человеческого мозга и имитирующих работу определенных корковых структур, распределенные сети формируются в результате согласованной активности моторных и сенсорных нейронных ансамблей. Такие «моторно-перцептивные сети» (action-perception circuits) распределены по модально-специфичным областям сенсомоторной коры, а также по областям, осуществляющим интеграцию информации, поступающей из модально-специфичных областей мозга. Исходя из такой концепции, автор предположил, что активность моторных областей, так же как и сенсорных, может оказывать влияние на процессы понимания. Результаты последних эмпирических исследований демонстрируют, что транскраниальная магнитная стимуляция сен-

сомоторной коры и корковых зон, входящих во фронтально-париетальные сети, оказывает каузальный эффект на эффективность распознавания отдельных слов. При этом понимание/распознавание может иметь отношение к височной коре, в то время как сенсомоторная и фронтально-париетальная сети могут «подключаться» в определенных условиях, таких как повышенный уровень внимания. В то же время докладчик рассказал о результатах исследований, проведенных в рамках парадигмы пассивного восприятия речи (passive speech perception paradigm), которые не подтверждают исключительную связь активности фронтально-париетальных сетей с вниманием. В этих работах было показано, что сенсомоторные и фронтально-париетальные области, ассоциированные с разными аспектами различения смысла, активируются, даже когда испытуемые не обращают внимания на речь. Таким образом, исследования, проведенные с использованием моделирования нейронных сетей, транскраниальной магнитной стимуляции и нейровизуализации в рамках парадигмы пассивного восприятия речи, говорят о роли распределенной нейронной сети, включающей фронтальные, височные и теменные зоны в мозговых механизмах понимания речи (language understanding). В лекции было очень убедительно продемонстрировано, что такие сложные когнитивные функции, как распознавание речи, могут быть объяснены только в контексте распределенных нейронных сетей, объединяющих различные корковые зоны со специфическими функциями.

В этот раз на конференции было довольно много докладов биологической направленности, и они привлекали большую аудиторию. Один из наиболее интересных докладов этого направления — сообщение, представленное А.Н. Харитоновым по материалам исследования, проведенного Т.Н. Греченко, А.Н. Харитоновым, А.В. Жеглалом (Институт психологии РАН, Москва), Е.Л. Суминой (МГУ им. М.В. Ломоносова) и Д.Л. Суминым (СНИПЭБ, Москва) на секции «Биология когнитивных процессов-1» (см. видеозаписи [первой](#) и [второй](#) частей секции). Доклад ярко продемонстрировал единство биологического и социального в поведении живых организмов, даже самых примитивных. В докладе говорилось о важной роли электрической активности живых клеток в передаче информации и особой роли ритмических изменений электрической активности — осцилляциях. Осцилляторная электрическая активность обнаружена у древнейших представителей живых существ — цианобактерий. Исследования, выполненные ранее микробиологами еще в 1995 году, показали, что индивидуальные клетки кооперируются и взаимодействуют (общаются), их «социальное» поведение сравнимо с более известными образцами социальности у многоклеточных живых существ, таких как насекомые и позвоночные. Авторы исследования 1995 года (Shapiro, 1995), о котором говорилось в докладе, полагали, что основные формы «социального» невербального общения возникли в этой древней социальной среде. Для проверки этой идеи на биопленках цианобактерий *Oscillatoria terebriformis* и *Geitlerinema sp.* / *Halothece sp.* были выполнены опыты, в которых регистрировалась макроэлектродами электрическая активность.

Результаты анализа «социальных» биокommunikаций в сообществе микроорганизмов показали, что взаимодействие между его членами существует, оно динамично и в то же время достаточно стабильно. Существуют факторы, определяющие характер осцилляторных электрических процессов и их модификации при получении сигналов из других локусов. Одним из таких факторов может быть социальность (правила совместной жизни в определенной среде). Изучение поведения цианобактерий показало, что они достигают высокого уровня приспособляемости благодаря «социальным» отношениям, а электрофизиологические опыты позволяют изучить информационные каналы, функциональное значение которых заключается в установлении взаимодействия между членами сообщества.

Завершающим мероприятием третьего дня стало общее собрание [МАКИ](#).

Четвертый день конференции был открыт пленарной лекцией Пера Линелла (Гетеборгский университет). В своем [докладе](#) «Познание и создание смысла: интеракционистский и диалогический подход» (“Cognition and sense-making: the interactional and dialogical view”) он рассмотрел вопросы познания и осмысления (sense-making) через призму диалогизма и интеракционизма. Основная идея диалогизма состоит в том, что присущее человеку осмысление неразрывно связано с другими людьми, культурами и эко-социальными ситуациями, а в основе такой взаимосвязи лежат различные виды взаимодействий. Судя по реакции аудитории, высказанная П. Линеллом точка зрения достаточно близка отечественным ученым в свете концепции Л.С. Выготского об экстрацеребральной организации осуществления психических функций.

На смену пленарной лекции пришла секция научных докладов под общим названием «[Теория и методология когнитивной науки — 2](#)», работой которой руководил Б.М. Величковский. В рамках секции в докладе группы авторов (В.М. Ольшанский, С.В. Волков, Д.Э. Эльяшев (ИПЭЭ РАН, Москва)) обсуждался вопрос эволюции цифровой техники. Было проанализировано развитие технологий, которое легло в основу перехода от аналоговой техники к цифровой. На конкретных примерах было показано, как происходило усовершенствование технологий и цифровой техники и чем это усовершенствование было обусловлено. Изящным образом были проведены параллели между эволюцией техники и эволюцией человека. Авторы напомнили слушателям о том, что цифровые устройства эволюционируют не сами по себе, за каждым устройством стоят его разработчики. Эволюция цифровой техники — это, согласно представлениям докладчиков, расширение фенотипа человека, его культуры, его взаимосвязей. Основными же вопросами, объединяющими подходы к изучению техники и человека, должны стать вопросы «зачем?» и «кто разработчик?».

Остальные устные доклады были разделены на две параллельные секции: «Биология когнитивных процессов» под руководством В.Е. Дьяконовой (ИБР РАН, Москва) и «Моделирование когнитивных процессов» под руководством В.Г. Редько (НИИ системных исследований РАН, Москва) и О.П. Кузнецова (ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова, Москва) и один воркшоп



**Фото 2.** Воркшоп «Возрастные особенности когнитивного развития». Регина Ильинична Мачинская от лица коллектива соавторов представляет доклад «Особенности мозгового обеспечения регуляторных компонентов когнитивной деятельности в предпододростковом и подростковом возрасте». Фото Илья Талалай

«Запись движений глаз при чтении на русском языке», работой которого руководила И.А. Секерина (ВШЭ, Москва). Одной из тем, которые обсуждались в рамках воркшопа, была разработка стимульного материала и апробация процедуры исследования движений глаз при чтении у младших школьников (доклад А.А. Корнеева, Т.В. Ахутиной, Е.Ю. Матвеевой, А.Ю. Шварц (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва)). А.А. Корнеев в качестве докладчика рассказал о проекте, в рамках которого предпринимается попытка создания корпуса предложений для исследования чтения у детей младшего школьного возраста. В качестве основы была взята русская версия Потсдамского корпуса, состоящая из 144 предложений. Количество предложений было сокращено до 30, каждое содержало одно целевое слово, лингвистические параметры которого контролировались. При выборе слов контролируемыми факторами были длина слов и их частотность. С использованием данной модели было проведено пилотажное исследование, результаты которого обсуждались на примере чтения двух второклассников, одного с хорошим навыком чтения (8 лет 5 месяцев), другого — с трудностями чтения (8 лет 4 месяца). Хотя оба ребенка прочли все предложения и правильно отвечали на вопросы, скорость чтения (3 минуты 17 секунд и 21 минута



**Фото 3.** Воркшоп «Возрастные особенности когнитивного развития». Татьяна Александровна Строганова представляет доклад коллектива соавторов «Зрительные гамма осцилляции человека: роль возраста, силы внешнего возбуждения и эффективности торможения». Фото Илья Талалай

28 секунд) и характер движения глаз (среднее число фиксаций, средняя длительность фиксаций и средняя скорость саккад) у них заметно отличались. По мнению авторов, можно предварительно утверждать, что созданный набор предложений позволяет достаточно отчетливо различать основные параметры глазодвигательной активности при чтении в зависимости от состояния навыка чтения. Апробация на большей выборке продолжается в настоящее время.

День подытожила стендовая секция, на которой был представлен широкий спектр докладов по разным проблемам когнитивных исследований. Как и первые две стендовые секции, эта секция вызвала большой интерес и весьма активные дискуссии участников конференции и докладчиков.

Программу завершающего дня конференции составили два сета параллельных воркшопов, на которых обсуждались разнообразные проблемы когнитивных исследований: «Ментальные ресурсы разного уровня: эффекты дифференциации и интеграции в структуре индивидуальности», «Мультимодальная коммуникация» и «Возрастные особенности когнитивного развития». В рамках последнего воркшопа, работой которого руководили М.М. Безруких и Р.И. Мачинская (Институт возрастной физиологии РАО, Москва) были



**Фото 4.** Групповая фотография организаторов и участников после подведения итогов конференции. Слева направо: Андрей Александрович Кибрик, Олег Петрович Кузнецов, Регина Ильинична Мачинская, Константин Владимирович Анохин, Марьяна Михайловна Безруких, Борис Митрофанович Величковский, Татьяна Владимировна Черниговская, Юрий Иосифович Александров, Артемий Александрович Котов, Ольга Евгеньевна Сварник, Владимир Георгиевич Редько, Валерий Дмитриевич Соловьев, Андрей Константинович Крылов. Фото Илья Талалай

представлены доклады, отражающие актуальные темы современных нейрокогнитивных исследований познавательного развития: роль биологических (в том числе генетических) и социальных факторов в развитии когнитивных функций, современные подходы к диагностике и коррекции когнитивных дефицитов у детей, нейрофизиологические механизмы особенностей обработки зрительной информации и их развитие в онтогенезе. Наше внимание привлекли два доклада. Один из них — доклад Р.И. Мачинской (авторы: Р.И. Мачинская, О.А. Семенова, Д.И. Ломакин, К.А. Фролова (ИВФ РАО, Москва)) — был посвящен особенностям когнитивного развития и поведения подростков, в частности весьма актуальному как в научном, так и в социальном плане вопросу о причинах всем известных «подростковых» проблем. В докладе на основе результатов собственных междисциплинарных (электроэнцефалографических, нейропсихологических и психометрических) исследований и анализа современных фМРТ-данных было показано, что причиной трудностей регуляции когнитивной деятельности и поведения (в том числе социального) у подростков может быть дисбаланс в развитии различных звеньев регуляторных систем мозга. Так, у подростков, начиная с 12–13 лет часто отмечаются электрографические признаки неоптимального состояния корковых звеньев фронто-базальной и фронто-лимбической систем, которые обеспечивают контроль эмоционально-мотивационных аспектов поведения, при этом по данным фМРТ активность «системы награды», отвечающей за мотивацию поощрения, напротив, усиливается. По мнению многих исследователей, эта особенность мотивационно-эмоциональной регуляции деятельности у подростков часто является причиной склонности к экстремальным ситуациям и вредным привычкам, а также причиной специфических для данного возраста трудностей обучения.

Специальное внимание докладчика было уделено социальным факторам, усиливающим негативные последствия дисбаланса регуляторных систем у подростков, а именно эмоциональным стрессам, связанным с игнорированием социальных потребностей подростков со стороны родителей и педагогов (эмоциональным насилием).

Другой доклад (Е.В. Орехова, А.В. Буторина, Т.А. Строганова, (МГППУ, Москва)), представленный Т.А. Строгановой, привлек внимание глубоким анализом базовых мозговых механизмов восприятия зрительной информации. В нем были представлены самые современные данные по этой проблеме и результаты собственных высокотехнологичных исследований коллектива авторов, посвященных анализу гамма-ритма биопотенциалов мозга человека. Интерес к гамма-осцилляциям биопотенциалов мозга в мировой нейрокогнитивной науке обусловлен, как было продемонстрировано в докладе, тем, что их частота существенно зависит от состояния тормозных интернейронов — основных участников процессов обработки информации в коре головного мозга. Используя магнитоэнцефалографию (МЭГ), авторы доклада исследовали у детей, подростков и взрослых людей зависимость частоты гамма-осцилляций в зрительной коре от скорости движения черно-белых концентрических окружностей. В частности, в докладе было показано, что нарастание скорости движения зрительного стимула у детей и подростков приводит к увеличению частоты гамма-осцилляций. При этом с возрастом частота самих гамма-осцилляций снижается, а диапазон, в котором возможны изменения частоты осцилляций, увеличивается. Эти данные позволили авторам доклада сделать важный вывод о возможности использования анализа гамма-осцилляций для тестирования функционального состояния тормозных интернейронов в зрительной коре.

Подводя итоги конференции, участники последнего заседания отметили, что в этом году было представлено большое количество работ молодых ученых. Во многом это стало причиной не самого высокого уровня некоторых докладов, однако все сошлись во мнении, что международная конференция по когнитивной науке движется в нужном направлении и с каждым годом ее организация совершенствуется, а уровень представленных исследований повышается. В этой связи К.В. Анохин высказал идею о том, что необходимо двигаться в сторону большей «международности» данного мероприятия, приглашая больше иностранных гостей и создавая все возможные усло-

вия для обеспечения доступности понимания русскоязычных докладов иностранными учеными. Кроме того, К.В. Анохин и М.М. Безруких выступили с идеей расширить формат конференции и организовать в будущем школы или секции молодых ученых. Все отметили, что место проведения конференции стало отличной площадкой для обсуждения междисциплинарных вопросов. Отдельную благодарность высказали волонтерам из Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта, а также А.К. Крылову (Институт психологии РАН, Москва) — «мозгу» организаторской работы на Седьмой международной конференции по когнитивной науке в Светлогорске.

## ■ current events in the field ■

# The 7th International Conference on Cognitive Science: A Psychologist's Perspective and a Psychophysiolologist's Perspective

**Alexandra Luneva**

P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

**Ilya Talalay**

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

**Abstract.** The 7th International Conference on Cognitive Science was held in June 2016 in Svetlogorsk, Russia. Multiple research areas of cognitive science, from linguistics to the neurobiology of information processes, were presented at the conference. This paper provides a brief overview of conference highlights and the main research issues of conference talks and posters from the perspectives of a psychologist and a psychophysiolologist.

**Correspondence:** Alexandra Luneva (corresponding author), [lunevalexandra@mail.ru](mailto:lunevalexandra@mail.ru), Faculty of Psychology, P. G. Demidov Yaroslavl State University, 9 Matrosova proezd, office 204, 150057 Yaroslavl, Russia; Ilya Talalay, [etalalay.et@gmail.com](mailto:etalalay.et@gmail.com)

**Keywords:** cognitive science, conference summary, neuroscience, cognitive psychology, interdisciplinary studies

**Copyright** © 2016. Alexandra Luneva, Ilya Talalay. 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.

Received 21 September 2016, accepted 30 September 2016.

**■ научная жизнь ■**

# Седьмая международная конференция по когнитивной науке глазами лингвиста

**Юлия Д. Потанина**

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

**Полина М. Эйсмонт**

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Санкт-Петербург, Россия

**Ольга О. Иванова**

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

**Мария А. Нагорная**

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

**Аннотация.** В обзоре представлен рассказ о VII Международной конференции по когнитивной науке, проводимой раз в два года в России. Освещаются основные направления ее работы, пленарные лекции, устные доклады, стендовые секции, а также междисциплинарные тематические воркшопы, которым традиционно отводится заключительный день конференции.

**Контактная информация:** Юлия Потанина (автор-корреспондент), [yulia.potanina.msu@gmail.com](mailto:yulia.potanina.msu@gmail.com), Отделение теоретической и прикладной лингвистики филологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, ГСП-1, Воробьевы горы, 119899 Москва, Россия; Полина Эйсмонт, [polina272@hotmail.com](mailto:polina272@hotmail.com); Ольга Иванова, [viola100@rambler.ru](mailto:viola100@rambler.ru); Мария Нагорная, [mnagornaya@list.ru](mailto:mnagornaya@list.ru)

**Ключевые слова:** когнитивная наука, междисциплинарные исследования, отчет о конференции, лингвистика

© 2016 Юлия Д. Потанина, Полина М. Эйсмонт, Ольга О. Иванова, Мария А. Нагорная. Данная статья доступна по лицензии **Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0. всемирная**, 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.

Статья поступила в редакцию 30 сентября 2016 г. Принята в печать 30 сентября 2016 г.

20–24 июня 2014 г. в г. Светлогорске состоялась VII Международная конференция по когнитивной науке. Конференция организуется каждые два года «Ассоциацией когнитивных исследований» (МАКИ), Межрегиональным общественным фондом «Центр развития межличностных коммуникаций», Балтийским федеральным университетом (БФУ) им. И. Канта и Институтом психологии РАН при поддержке правительства Калининградской области.

В программе конференции были представлены лекции и доклады специалистов в области когнитив-

ной науки. Состоялись четыре специализированных воркшопа — «Возрастные особенности когнитивного развития», «Мультимодальная коммуникация. Памяти Елены Гришиной», «Запись движений глаз при чтении на русском языке», «Ментальные ресурсы разного уровня: эффекты дифференциации и интеграции в структуре индивидуальности», было представлено около 160 стендовых докладов. В конференции участвовали психологи, лингвисты, нейрофизиологи, специалисты по педагогике, искусственному интеллекту, нейроинформатике, когнитивной эргономике и ком-



**Фото 1.** Пленарная лекция Пера Линелла «Познание и создание смысла: интеракционистский и диалогический подход» ("Cognition and Sense-Making: the Interactional and Dialogical View"). Фото Ильи Талалая

пьютерным наукам, философы, антропологи и другие специалисты, работающие в области когнитивной науки. Рабочими языками конференции были русский и английский, сборник тезисов докладов представлен на [сайте конференции](#).

Начало конференции было омрачено печальным событием: доктор физ.-мат. наук, профессор Д.С. Чернавский скончался по пути на конференцию на 91-м году жизни. Авторы статьи выражают искренние соболезнования семье выдающегося ученого.

К сожалению, охватить все разнообразие работ, представленных на конференции, не представляется возможным, поэтому авторы остановятся только на тех докладах, которые могут быть наиболее интересны лингвистам.

Одной из центральных проблем нейролингвистики — локализации языковых функций в мозге — была посвящена пленарная лекция профессора Ф. Пульвермюллера (Свободный университет Берлина, Германия) на тему «Язык, ансамбли клеток и мозг». Распространенное в течение многих лет мнение о точечной локализации языковых функций, в частности указание задней части верхней височной борозды как места, где осуществляется понимание речи, не подтверждается последними исследованиями. Изучение активации различных областей мозга человека в сопоставле-

нии с мозгом приматов при восприятии речи выявило у человека, в отличие от приматов, вовлеченность в эти процессы двух областей — нижней лобной и верхней височной, что позволяет предположить ответственность этих областей за восприятие именно фонетической информации. Подобная активация целых ансамблей клеток была обнаружена и при восприятии лексических единиц различной семантики (значения действий либо объектов), а также она позволила локализовать все задействованные в идентификации слова процессы — опознание звучащей последовательности как языкового знака, узнавание конкретного слова и реверберацию слова в рабочей памяти.

В противовес классической трактовке диалога как речевого обмена между двумя и более присутствующими участниками профессор П. Линелл (Гетеборгский университет, Швеция) представил в своей пленарной лекции основные положения собственной диалогической теории, разрабатываемой им в традициях когнитивной лингвистики. Базовым принципом этой теории является признание того, что создание (и получение) смысла в диалогическом общении в решающей степени зависит от культурных и социальных параметров участников коммуникации, в результате которой создается некое общее когнитивное пространство, не являющееся индивидуальным знанием одного из них. По мнению автора, сознание по своей природе интерактивно, оно способствует взаимодействию с другими и взаимодействию с природой, реализуется в речевой репрезентации и проявляется в коммуникации, обеспечивая взаимопонимание.

В рамках секции «Онтогенез когнитивных структур» В.В. Казаковская (Институт лингвистических исследований РАН, Санкт-Петербург) представила доклад о формировании у детей в возрасте от 1.5 до 6 лет такой сложной категории, как эпистемическая модальность, одной из языковых реализаций которой является выражение в речи уверенности / неуверенности говорящего в сообщаемой информации. Таким образом, освоение языковых средств выражения эпистемической модальности оказывается в прямой зависимости от развития у ребенка модели психического (Theory of Mind), которая, как известно, начинает формироваться на третьем году жизни. В русском языке эпистемическая семантика может выражаться при помощи интонации и лексико-грамматических средств, в первую очередь вводно-модальных слов и сочетаний, основными характеристиками которых являются семантическая градуальность, имплицитность простой достоверности, полифункциональность и вводность. На примере анализа лонгитюдных данных о речевом развитии шести русскоязычных детей автор показала, что ранний эпистемический репертуар появляется в детской речи в возрасте двух лет и зависит от социально-экономического статуса семьи, в которой воспитывается ребенок. Кроме того, в отличие от имеющих данные по другим языкам, в речи русскоязычных детей маркеры неуверенности появляются раньше, чем маркеры уверенности.

Доклад Т.В. Черниговской (СПбГУ) и О. Васильевой (Университет им. Саймона Фрейзера, Канада) на секции «Теория и методология когнитивной науки»



**Фото 2.** Мира Борисовна Бергельсон от лица коллектива соавторов представляет доклад «Маркеры выражения эмпатии и интеракции в норме и патологии (на материале корпуса Russian CliPS)». Фото Андрея Кибрика

был посвящен проблеме эволюции языка и сознания, их взаимосвязи и взаимовлияния. Эта тема тесно связана с решением вопроса о том, что является первичным в их возникновении и дальнейшем развитии (проблема «курицы и яйца»). Проанализировав работы ведущих физиологов и лингвистов с XIX века до наших дней, докладчики отметили, что язык эволюционирует не сам по себе, а под влиянием изменений в сознании человека, что подтверждается нейрофизиологическими исследованиями последних лет. В то же время, исследования коммуникации животных и строения их мозга не позволяют однозначно принять точку зрения генеративистов о существовании в человеческом мозге отдельного языкового модуля, в том числе и по причине чрезвычайной сложности вовлеченных в коммуникацию и мышление языковых процессов. Однако в результате обзора широкого спектра лингвистических и нейрофизиологических данных авторы приходят к выводу, что язык является все же вторичным образованием, обусловленным развитием сложных когнитивных систем, формированием новых нейронных связей и взаимодействием самых различных генов, многие из которых присутствуют и в геномах других видов.

**Доклад** М.Б. Бергельсон, М.В. Худяковой, М.А. Грабовской, Е.И. Ивтушок, М.М. Шапиро (ВШЭ, Москва) «Маркеры выражения эмпатии и интеракции в норме и патологии (на материале корпуса Russian CliPS)» был посвящен исследованию, направленно-

му на оценку дискурсивных возможностей пациентов с афазией и поражениями правого полушария в сравнении со здоровыми пациентами. В рамках доклада был представлен корпус Russian CliPS, содержащий в себе пересказы фильма «О грушах», среди которых 40 пересказов продюцированы людьми с афазией, 5 — пациентами с поражениями правого полушария, 30 — здоровыми людьми. Методы и параметры, используемые в данной работе, позволяют описать дискурсивные стратегии, характерные для всех групп испытуемых. Ученым удалось обнаружить зависимость между стратегиями пересказа и маркерами интеракции. Также исследование показало, что статистические различия между больными и здоровыми людьми при использовании маркеров интеракции проявляются только на уровне фальстартов.

**Выступление** С.А. Бурлак (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) было посвящено роли правила Хебба в языковых изменениях. Согласно правилу, чем чаще активируются совместно связанные друг с другом нейроны, тем более усиливаются связи между ними и тем меньший стимул требуется для их активации. Это правило, предложенное Д. Хеббом в 1949 году, позволяет объяснить механизмы языковых изменений. Исследовательница приводит тому множество примеров, взятых на различных языковых уровнях. В частности, с помощью правила Хебба объясняется процесс грамматикализации, некоторые фонетические изменения



**Фото 3.** Полина Михайловна Эйсмонт представляет доклад коллектива соавторов «Концептуальная интеграция как когнитивный механизм эмоционального восприятия». Фото Андрея Кибрика

(например, спонантизация звуков b, g, d в испанском языке), непроизводность большинства слов базисной лексики в языках мира и т.д.

О.А. Волчек (БГУ, Минск) в своем докладе рассказала об исследовании, посвященном новому и актуальному в настоящее время методу «грамматических профилей», основоположниками которого считаются Шт. Грис, Л. Янда и О.Н. Ляшевская. Суть его заключается в том, что с помощью моделей, учитывающих исключительно грамматические параметры, можно моделировать лексическое значение слова. В рамках исследования была осуществлена проверка утверждения о том, что слова, относящиеся к одному семантическому классу, имеют сходные грамматические профили. Для этого были смоделированы грамматические профили (распределения частот падежных форм) слов русского языка со значением природных пространственных объектов, которые затем сравнили с грамматическими профилями слов, называющих отрезки времени и профессии. Как показало исследование, разные грамматические профили действительно соответствуют разным лексико-семантическим группам, но данный метод не является основным для установления их состава. Также О.А. Волчек были даны ответы на прочие вопросы, связанные с главной задачей исследования, в частности чем вызваны отклонения от типичного грамматического профиля внутри группы и как грамматические профили изменяются во времени.

В докладе О.В. Нагель, И.Г. Темниковой, А.С. Буб (ТГУ, Томск) «Морфологическая обработка: Эффекты

знаковой частотности и возраста усвоения на материале русского языка» были освещены основные проблемы, связанные с возрастом усвоения слов и его влиянием на морфологическую обработку. Главный вывод, который ученым удалось сделать в ходе исследования, заключается в том, что возраст усвоения в большей мере, чем частотность употребления, определяет скорость узнавания слов и модель чтения (reading pattern) для синкретичных дериватов.

В докладе Т.В. Скулачевой (Институт русского языка им. В.В. Виноградова РАН, Москва) «Структура стиха и его восприятие» были приведены результаты исследования, посвященного нахождению закономерностей, наблюдаемых в структуре стиха, и особенностей восприятия информации, представленной в стиховой форме. Автор противопоставляет стиху его прозаический эквивалент и анализирует различия, возникающие между ними на уровне синтаксиса и просодии, а также указывает на различия, связанные с расположением наиболее важной информации внутри синтагмы. В заключение доклада приводится наблюдение о том, что в стихе даже грубые логические несоответствия, как правило, остаются незамеченными, чему автор предлагает возможное объяснение, связанное с подключением участков правого полушария.

Н.А. Слюсарь (СПбГУ, Санкт-Петербург) в своем докладе «Пример неполного разрешения морфологической неоднозначности в контексте: ошибки в согласовании по числу в русском языке» представила данные экспериментального исследования, нацеленного на получение представления о том, как происходит согласование и как в ментальной грамматике представлено число. В числе результатов были приведены два важных фактора, обеспечивающие возможность появления эффекта аттракции (agreement attraction): множественное число аттрактора (и единственное подлежащего, а не наоборот) и падежный синкретизм (совпадение падежа у подлежащего и аттрактора), причем второй фактор оказывается важнее первого.

В докладе «Динамика эмоций в европейских языках» (В.Д. Соловьев, В.В. Бочкарев, В.Р. Байрашева, КФУ, Казань) было представлено исследование, проведенное на материале ресурса Google Books Ngram, содержащего 6% когда-либо изданных книг. Для шести европейских языков была посчитана общая частота использования лексики, соответствующей базовым эмоциям, а также индекс удовлетворенности жизнью, который вычислялся по формуле «Joy — (Anger + Disgust + Fear + Sadness)». Были также выявлены некоторые тенденции изменения этой величины: для английского, немецкого и испанского она снижается с начала XX века, тогда как для французского, русского и итальянского она, наоборот, возрастает.

В докладе группы авторов из Санкт-Петербурга (Г.В. Попов, А.А. Стерликова, П.М. Эйсмонт, Санкт-Петербургский институт внешнеэкономических связей, экономики и права, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения) «Концептуальная интеграция как когнитивный механизм эмоционального восприятия» был описан эксперимент, материалом для которого послужили два различных видеоряда, предъявляемые



**Фото 4.** Валерий Дмитриевич Соловьев, ставший президентом Межрегиональной ассоциации когнитивных исследований на следующие два года, выступает на закрытии конференции. Фото Андрея Кибрика

в сопровождении одного и того же текста о войне, написанного от первого лица. В одном видеофрагменте использовались фотографии советской армии, а в другом — немецко-фашистских войск, то есть в первом случае рассказчиком оказывался советский солдат, а во втором — немецкий. После просмотра видео испытуемым предлагалось определить различия между фрагментами и ответить на вопросы анкеты. Оказалось, что далеко не все испытуемые смогли соотнести рассказчиков с разными участниками боевых действий, но среди тех, кому это удалось, наблюдается различие в эмоциональном восприятии. Интересно, что распознавание различия между фрагментами коррелирует с полом испытуемого и направленностью специальности. Различия в эмоциональном восприятии предложенных видеофрагментов обусловлено актуализацией у двух групп испытуемых разных исходных ментальных пространств: у тех, кто смог определить различия между видеофрагментами, актуализировалось ментальное пространство «Великая Отечественная война», а у тех, кто не справился с этой задачей, — ментальное пространство «война».

В рамках воркшопа «Мультимодальная коммуникация. Памяти Елены Гришиной» в докладе «Мультимедийный параллельный корпус (МультиПАРК): новый тип корпуса для сопоставительных исследований», представленном С.О. Савчук по материалам, раз-

работанным Е.А. Гришиной (Институт русского языка им. В.В. Виноградова РАН, Москва), было рассказано о задачах, которые можно решать при помощи мультимедийного параллельного корпуса, созданного на базе НКРЯ, а также о его устройстве и организации. В 2014 году был открыт русский МультиПАРК, в состав которого в настоящий момент входят семь постановок/экранизаций, фрагментированных и размеченных специальным образом. Этот корпус предназначен для исследования одной и той же реплики, произнесенной разными говорящими. Представляется, что он может применяться при изучении пауз в устной речи, определении состава интонационных контуров, проведении исследований жестикюляции и т.д. К концу 2016 года планируется открытие англо-русского МультиПАРКа, который позволит анализировать русский и английский порядок слов, русские и английские интонационные контуры, жестикюляцию в англоязычном дискурсе и сопоставлять ее с жестикюляцией в русском дискурсе. Разработчики предполагают, что оба корпуса со временем найдут применение в современных лингвистических исследованиях.

А.А. Кибрик (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) выступил с докладом «Язык как он есть», в котором обратил внимание на то, что для создания реалистического представления о языке необходимо принимать во внимание все компоненты коммуникативной деятельности, в том числе просодические параметры, жестикюляцию и направление взгляда. Таким образом, было предложено исследовать язык в максимально естественных условиях. Это и является основной целью коллективного проекта РНФ, выполняемого в Институте языкознания РАН, основные принципы и достижения которого А.А. Кибрик представил в докладе. Основное отличие данного проекта от прочих мультимодальных исследований заключается в том, что в центре внимания находятся не только вербальная и кинетическая составляющие, но и просодия. Экспериментальный материал также сопровождается записями с айтрекеров. Полученные данные предполагается разместить в виде ресурса, позволяющего оценить многообразие процессов, вовлеченных в естественную ситуацию коммуникации, и открытого для конкретных исследований в данной сфере.

Воркшоп, организованный И.А. Секериной, был посвящен изучению движения взгляда при чтении. В частности, в работе А.К. Лауринавичюте, И.А. Секериной, К.А. Багдасарян, С.В. Алексеевой, Н.С. Змановского базовые характеристики движений глаз при чтении на русском языке сравнивались с ранее полученными результатами для других языков (в том числе для немецкого). Наиболее интересный результат состоит в том, что существует влияние частеречной принадлежности слова на базовые параметры движений глаз.

Среди постерных докладов следует отметить доклад Т.В. Белых и Е.М. Зинченко (Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов) «Сравнительный анализ окулomotorной активности и индивидуально-психологических особенностей при произвольном запоминании слов на иностранном языке», в котором были представлены результаты исследования, направленного на нахождение

зависимости между успешностью прохождения теста на запоминание десяти незнакомых иностранных слов за одну минуту и движениями глаз при запоминании. Оказалось, что для испытуемых, успешно прошедших тест на запоминание, характерна значительно большая продолжительность фиксации и достоверно меньшая продолжительность морганий, чем для испытуемых, выполнивших задание unsuccessfully. Авторы предполагают, что это также связано с некоторыми нейродинамическими показателями, которые измерялись сразу после прохождения теста. Постерный доклад Е.Б. Трофимовой, У.М. Трофимова, М.С. Власова (Алтайская государственная академия им. В.М. Шукшина, Бийск) был посвящен когнитивным и языковым факторам, влияющим на опознавание иноязычных фразеологизмов. В рамках исследования группой ученых был проведен эксперимент, в котором фразеологизмы русско-

го, китайского и монгольского языков предъявлялись испытуемым (по 30 человек каждой этнической группы) пословно переведенными на их родной язык. Результаты, полученные в ходе эксперимента, позволили исследователям сделать выводы (подкрепленные большим количеством примеров) о факторах, обуславливающих распознавание значения фразеологизма, выявить факторы, способствующие ошибочному пониманию идиомы, системно описать идиомы разных языков, а также установить зависимость восприятия от модальности, в которой предъявляется фразеологизм.

Авторы выражают благодарность организаторам конференции и надеются, что конференция и в будущем будет привлекать исследователей со всего мира. Материалы конференции доступны на [сайте](#), а с некоторыми докладами можно ознакомиться на [YouTube канале конференции](#).

## ■ current events in the field ■

# The 7th International Conference on Cognitive Science: A Linguist's Perspective

**Julia D. Potanina**

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

**Polina M. Eismont**

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia

**Olga O. Ivanova**

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

**Maria A. Nagornaya**

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

**Abstract.** The present review covers the 7th International Conference on Cognitive Science, a gathering that is held biannually in Russia. The paper highlights the main topics that were the focus of plenary sessions, oral and poster sessions, and interdisciplinary workshops which traditionally take place on the last day of the conference. The review presents a linguist's perspective of the presentations.

**Correspondence:** Julia D. Potanina (corresponding author), [yulia.potanina.msu@gmail.com](mailto:yulia.potanina.msu@gmail.com), Department of Theoretical and Applied Linguistics, Lomonosov Moscow State University, 119899, GSP-1, Vorob'evy Gory, Moscow, Russia; Polina M. Eismont, [polina272@hotmail.com](mailto:polina272@hotmail.com); Olga O. Ivanova, [wiola100@rambler.ru](mailto:wiola100@rambler.ru); Maria A. Nagornaya, [mnagornaya@list.ru](mailto:mnagornaya@list.ru)

**Keywords:** cognitive science, interdisciplinary research, conference summary, linguistics

**Copyright** © 2016. Julia D. Potanina, Polina M. Eismont, Olga O. Ivanova, Maria A. Nagornaya. 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.

Received 30 September 2016, accepted 30 September 2016.