



УДК 612.84; 612.843.7; 004.93; 621.397.3 <https://www.doi.org/10.33910/2687-1270-2021-2-4-352-377>

Неосознаваемые зрительные сигналы и произвольные реакции человека

Ю. Е. Шелепин^{✉1}, А. К. Хараузов¹, О. А. Вахрамеева¹, О. В. Жукова¹, С. В. Пронин¹,
О. В. Цветков², К. А. Скуратова¹, Е. Ю. Шелепин¹

¹ Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, 199034, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 6

² Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова, 197376, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5

Сведения об авторах

Юрий Евгеньевич Шелепин,
SPIN-код: 8905-5921,
Scopus AuthorID: 6701651700,
Researcher ID: C-1868-2016,
e-mail: yshelepin@yandex.ru

Алексей Кольмарович Хараузов,
Scopus AuthorID: 9733389300,
Researcher ID: AAA-8837-2021,
ORCID: 0000-0002-1352-5805,
e-mail: harauzov@infran.ru

Ольга Анатольевна Вахрамеева,
SPIN-код: 3291-5780

Ольга Викторовна Жукова,
SPIN-код: 9794-3388,
Scopus AuthorID: 57194340334,
Researcher ID: ABD-7034-2020,
e-mail: zhukovaov@infran.ru

Сергей Вадимович Пронин,
Scopus AuthorID: 36965403600,
e-mail: proninsv@infran.ru

Олег Викторович Цветков,
SPIN-код: 2112-7069,
Scopus AuthorID: 57225011105,
e-mail: ovts@bk.ru

Ксения Андреевна Скуратова,
SPIN-код: 5940-0930,
Scopus AuthorID: 57216979736,
Researcher ID: ABA-2446-2021,
ORCID: 0000-0001-8371-4348,
e-mail: skuratovaka@infran.ru

Евгений Юрьевич Шелепин,
SPIN-код: 5938-7368,
Scopus AuthorID: 57224279100,
Researcher ID: AAA-9227-2021,
ORCID: 0000-0002-3124-5540,
e-mail: shelepiney@infran.ru

Для цитирования:

Шелепин, Ю. Е., Хараузов, А. К.,
Вахрамеева, О. А., Жукова, О. В.,
Пронин, С. В., Цветков, О. В.,
Скуратова, К. А., Шелепин, Е. Ю.
(2021) Неосознаваемые
зрительные сигналы
и произвольные реакции

Аннотация. В статье представлены психофизиологические исследования восприятия осознаваемой и неосознаваемой информации в процессе целенаправленной деятельности человека. Этот важнейший раздел сенсорной физиологии рассмотрен нами на примере восприятия изображений, содержащих осознаваемые и неосознаваемые (скрытые) лица. Разработаны методы маскировки сигналов (изображений лиц). Для решения поставленной задачи развиты методы выявления неосознаваемого восприятия по произвольным реакциям человека с помощью объективных физиологических методов интегративной оценки состояния человека. Особое внимание в статье уделено проблеме различий в передаче информации по крупноклеточным и по мелкоклеточным нейронным путям из сетчатки в подкорковые ядра: в наружное коленчатое тело, верхние бугры четверохолмия, в пульвинар, в амигдаларный комплекс и в гипоталамус. Детально обсуждается дальнейший анализ поступившей информации в дорзальной затылочно-теменно-лобной крупномасштабной нейронной сети и в вентральной затылочно-височно-лобной сети. Предложены некоторые алгоритмы описания работы этих нейронных сетей. С помощью психофизиологических методов регистрации движения глаз, ЭЭГ и фМРТ выявлены маркеры неосознаваемого восприятия. Экспериментально установлено влияние неосознаваемого восприятия на принятие решений, осуществляемых в нейронных сетях префронтальной коры. Предложена модель оппонентных взаимодействий вентральной и дорзальной нейронных сетей и реципрокных отношений нейронных сетей различных структур префронтальной коры. Выдвинуто предположение о том, как взаимосвязь осознаваемого и неосознаваемого восприятия обеспечивает принятие решения и эффективность целенаправленного поведения человека.

Ключевые слова: зрение, восприятие, маскировка, осознаваемый стимул, неосознаваемый стимул, мимика, вызванные потенциалы, принятие решений, целенаправленная деятельность

человека. *Интегративная физиология*, т. 2, № 4, с. 352–377.
<https://www.doi.org/10.33910/2687-1270-2021-2-4-352-377>

Получена 6 октября 2021; прошла рецензирование 28 октября 2021; принята 28 ноября 2021.

Финансирование: Важнейший, завершающий этап работы над статьей был выполнен при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2020-921 от 13.11.2020 о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Павловский центр «Интегративная физиология — медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям стрессоустойчивости»».

Права: © Ю. Е. Шелепин, А. К. Хараузов, О. А. Вахрамеева, О. В. Жукова, С. В. Пронин, О. В. Цветков, К. А. Скуратова, Е. Ю. Шелепин (2021).

Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

Unconscious visual signals and involuntary human reactions

Yu. E. Shelepin^{✉1}, A. K. Kharauzov¹, O. A. Vakhrameeva¹, O. V. Zhukova¹, S. V. Pronin¹, O. V. Tsvetkov², K. A. Skuratova¹, E. Yu. Shelepin¹

¹ Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 6 Makarova Emb., Saint Petersburg 199034, Russia

² Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, 5 Professor Popov Str., Saint Petersburg 197376, Russia

Authors

Yuri E. Shelepin,
SPIN: 8905-5921,
Scopus AuthorID: 6701651700,
Researcher ID: C-1868-2016,
e-mail: yshelepin@yandex.ru

Alexey K. Kharauzov,
Scopus AuthorID: 9733389300,
Researcher ID: AAA-8837-2021,
ORCID: 0000-0002-1352-5805,
e-mail: harauzov@infran.ru

Olga A. Vakhrameeva,
SPIN: 3291-5780

Olga V. Zhukova,
SPIN: 9794-3388,
Scopus AuthorID: 57194340334,
Researcher ID: ABD-7034-2020,
e-mail: zhukovaov@infran.ru

Sergey V. Pronin,
Scopus AuthorID: 36965403600,
e-mail: proninsv@infran.ru

Abstract. The article reports the results of the psychophysiological studies of the perception of conscious and unconscious information during purposeful human activity. The study focused on the most important aspect of sensory physiology—the perception of images. The images contained conscious and unconscious (hidden) faces. We developed the methods of signal (facial images) masking and the methods to identify the person’s unconscious perception through his/her involuntary reactions. We also proposed a set of objective physiological methods of an integrative assessment of a person’s condition. A special focus was given to transferring information along magnocellular and parvocellular neural pathways from the retina to the subcortical nuclei: to the lateral geniculate body, the superior colliculus, the pulvinar, the amygdala complex and the hypothalamus. The article explores how the received information is analysed further in the dorsal occipito-parieto-frontal large-scale neural network and the ventral occipital-temporo-frontal network. It also proposes algorithms that describe how these neural networks function. The markers of unconscious perception were revealed by psychophysiological methods of eye movement registration, EEG and fMRI. The experimental evidence revealed the influence of unconscious perception on decision making in the neural networks of the prefrontal cortex. The article offers a model of opposing interactions of the ventral and dorsal neural networks and reciprocal relationship of the neural

Oleg V. Tsvetkov,
SPIN: 2112-7069,
Scopus AuthorID: 57225011105,
e-mail: ovts@bk.ru

Kseniya A. Skuratova,
SPIN: 5940-0930,
Scopus AuthorID: 57216979736,
Researcher ID: ABA-2446-2021,
ORCID: 0000-0001-8371-4348,
e-mail: skuratovaka@infran.ru

Evgeny Yu. Shelepin,
SPIN: 5938-7368,
Scopus AuthorID: 57224279100,
Researcher ID: AAA-9227-2021,
ORCID: 0000-0002-3124-5540,
e-mail: shelepiney@infran.ru

For citation:

Shelepin, Yu. E., Kharauzov, A. K., Vakhrameeva, O. A., Zhukova, O. V., Pronin, S. V., Tsvetkov, O. V., Skuratova, K. A., Shelepin, E. Yu. (2021) Unconscious visual signals and involuntary human reactions. *Integrative Physiology*, vol. 2, no. 4, pp. 352–377.
<https://www.doi.org/10.33910/2687-1270-2021-2-4-352-377>

Received 6 October 2021;
reviewed 28 October 2021;
accepted 28 November 2021.

Funding: The most important final stage of the research was financed by the Ministry of Science and Higher Education of Russia as part of Agreement No. 075-15-2020-921 of 13 November 2020.

The agreement provides a grant from the Federal budget as part of the government programme that supports the creation and development of the world-class research center Pavlov Center for Integrative Physiology to Medicine, High-Tech Healthcare and Technologies of Stress Resistance.

Copyright: © Yu. E. Shelepin, A. K. Kharauzov, O. A. Vakhrameeva, O. V. Zhukova, S. V. Pronin, O. V. Tsvetkov, K. A. Skuratova, E. Yu. Shelepin (2021). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under [CC BY-NC License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

networks of various structures of the prefrontal cortex. It has been suggested that the relationship between conscious and unconscious perception ensures decision making and the effectiveness of purposeful human behavior.

Keywords: vision, perception, masking, unconscious stimulus, facial expressions, facial muscles, evoked potentials, decision making, purposeful activity

Введение

Реакция человека на зрительные стимулы — это реакция всего организма. Появление любого сенсорного сигнала, а биологически значимого тем более, вызывает отклик не только в центральной нервной системе, но и в исполнительных органах и в системах жизнеобеспечения наблюдателя.

В зрительной системе человека информация обрабатывается в различных каналах и может проходить в режимах как осознанного, так и неосознанного восприятия. Выполнение движений также может быть в произвольном осознанном и в непроизвольном неосознанном режимах. Состояние организма, изменяющиеся цели и потребности, обеспечивающие выживание человека, изменяют и характеристики

зрительного восприятия. Меняется отношение человека к окружающей среде, меняется восприятие и действие. Наиболее наглядно реакции человека проявляются при появлении значимых стимулов на пороге восприятия. Обнаружение и распознавание лиц в условиях неопределенности является важнейшей для человека задачей. Поэтому весь организм человека и реагирует в этих условиях распознавания чрезвычайно активно. Эти исследования важны для развития интегративной физиологии.

В данной статье дан анализ собственных работ, направленных на исследования осознаваемых и неосознаваемых составляющих восприятия изображений лиц и принятия решения в условиях неопределенности. Обычно ни интроспективно, ни путем опроса нельзя установить, поступила ли та или иная зрительная информация неосознанно. Дело в том, что сохраненную в памяти человека информацию о наблюдаемых сценах можно условно разделить на два типа. Малая часть информации

об изображениях доступна на сознательном уровне. Другую, большую, но скрытую в подсознании часть информации сознательными усилиями извлечь трудно. Но она влияет на поведение человека, на принятие им решений. Для извлечения воспринятой, но неосознаваемой информации необходимы объективные методы исследования (рис. 1). Цель всех рассмотренных в статье работ — обнаружить неосознаваемые, но поступившие в мозг сигналы по произвольным движениям глаз, мимике или с помощью ЭЭГ и фМРТ.

Оценку того, находится ли человек в сознании или бессознательном состоянии, осуществляют все собеседники непрерывно и неосознанно. А врачи и юристы свою оценку обязаны не только осознать, но документировать, например, в соответствии со Шкалой Комы Глазго (The Glasgow Coma Scale — GCS). Эта шкала построена на оценке неосознаваемых реакций пациента (зрачков) или осознаваемых двигательных реакций (речь). Шкала имеет исключительно

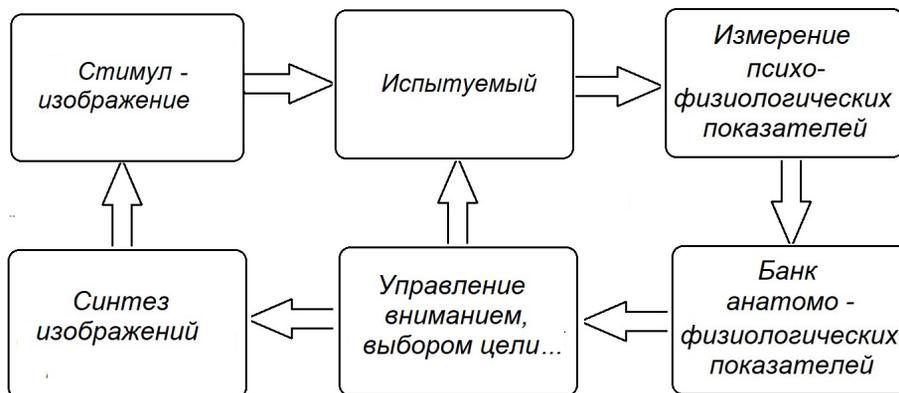


Рис. 1. Функциональные блоки испытательного стенда для психофизиологических исследований осознаваемого и неосознаваемого восприятия изображений. Стенд обеспечивает эффективную конвергенцию человека и искусственного интеллекта, некоторые функциональные звенья которого представлены в нижнем ряду

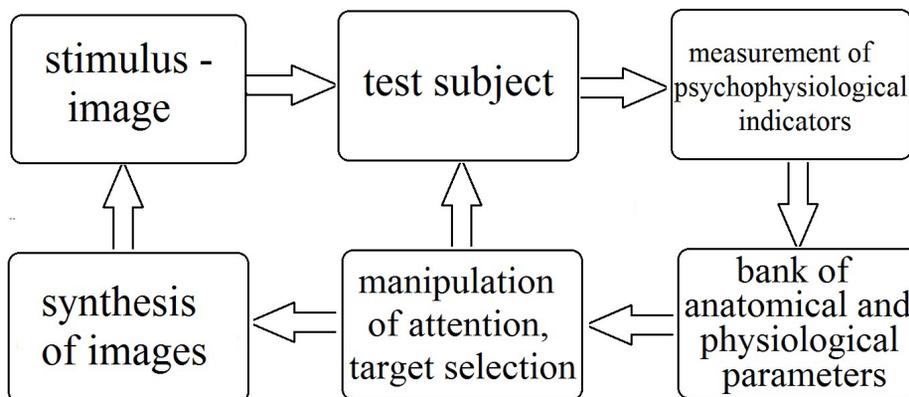


Fig. 1. Functional elements of a test setup for psychophysiological research in conscious and unconscious perception. The setup provides an effective convergence of human and artificial intelligence. The bottom row shows some of the functional links

клиническое значение и не может служить инструментом точных измерений. Поэтому мы в поиске маркеров неосознаваемого восприятия регистрировали именно физиологическими методами произвольные двигательные реакции и отклики мозга испытуемых на неосознаваемые стимулы.

Впервые электрофизиологический контроль осознаваемой и неосознаваемой составляющей восприятия был начат в Институте физиологии им. И. П. Павлова еще в 30-е годы прошлого века Г. В. Гершуни и продолжен В. А. Кожевниковым и Л. А. Чистович (Гершуни 1940; Кожевников 1951; Кожевников, Марусева 1949; Чистович 1950). Оригинальность их работ состояла в том, что они исследовали реакции на слабые звуковые сигналы, которые испытуемый не ощущал субъективно, но реакции мозга на них регистрировали электрофизиологически.

Реакции человека на «околопороговые», неосознаваемые, незаметные для испытуемого зрительные стимулы зависят от внимания. Рассмотрим на рисунке 2 простейший пример скрытых и явных элементов структуры, казалось бы, совершенно очевидного изображения — черно-белой шахматной доски со стандартным числом 8 × 8 черных и белых клеток.

Черно-белые квадраты на рисунке 2А строго упорядочены. Если угловые размеры шахматной доски велики, то мы видим отчетливо каждую ячейку — черные или белые клетки, а вот диагональные составляющие мало кто замечает, пока на них не будет обращено внимание.

Если уменьшить размер доски, например отойти от изображения на расстояние, при котором оно становится плохо различимым, края каждого квадрата ячейки будут размыты, а диагональные составляющие будут видны отчетливо.

Диагональные составляющие не являются сильным субъективным стимулом, но первичные компоненты вызванных потенциалов определяются именно низкочастотной частью пространственно-частотного спектра шахматных паттернов разного размера. Электрофизиологические измерения позволяют выявить отклик мозга на данный, частично скрытый, признак изображения шахматного паттерна. Особенность вызванных потенциалов реагировать именно на низкочастотную часть спектра изображения уже давно использована для объективной оценки остроты зрения в клинике (Regan et al. 1977).

Независимое восприятие квадратных ячеек и диагоналей шахматного паттерна являются наглядным примером передачи информации по нескольким каналам зрительной системы. Свойства каналов описаны подробно (см. обзоры: Бондарко и др. 1999; Глезер 1993; Baba et al. 2015; Kulikowski 2003; Xu et al. 2019). Эффект чередования восприятия разных признаков этого паттерна указывает на то, что между этими каналами имеются оппонентные взаимосвязи (Шелепин 2017; Шелепин и др. 1985). За счет избирательного внимания можно «включать» разные каналы и видеть, например, либо левую, либо правую диагональную структуру шахматной доски (рис. 2).

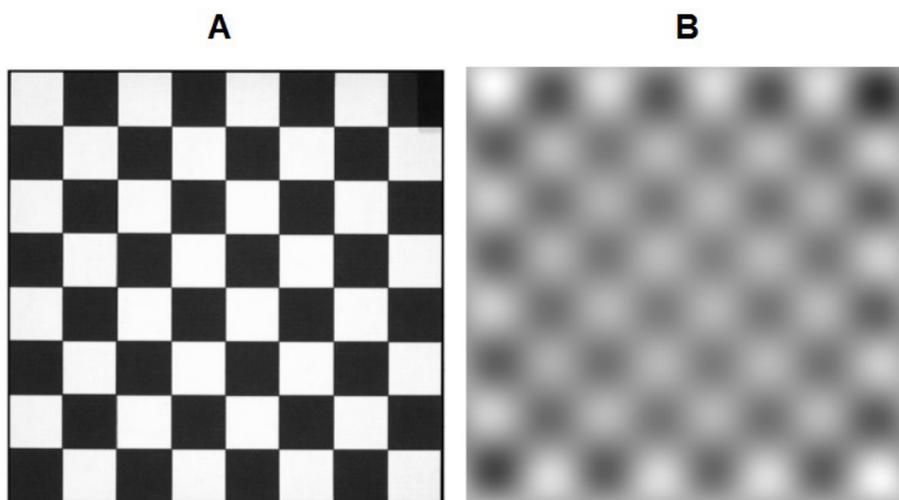


Рис. 2. Изображение тестового изображения в виде «шахматной доски» (А) и этого же изображения после фильтра низких частот (В)

Fig. 2. Chessboard as a test image (A) and the same image after a low-pass filter (B)

Психофизические исследования распознавания лиц

Лицо человека — один из сложнейших объектов для понимания сцены. Лицо удивительно сочетает свою целостность как единого образа одного объекта или даже целостной сцены, так как различные части лица столь значимы сами по себе, что представляют отдельные объекты.

При цифровой обработке изображений лиц, предложенной П. Виолой и М. Джонсом (Viola, Jones 2004), вначале Мурыгин, а затем Дакин и Ватт показали, что для идентификации знакомого человека достаточно использовать только горизонтальные компоненты двумерного пространственно-частотного спектра наблюдаемых изображений (Мурыгин 2003; Dakin, Watt 2009). Однако для описания эмоционального выражения этого недостаточно. Чтобы обнаружить значимые для невербального общения элементы мимики, необходимо выделение диагональных составляющих двумерного пространственно-частотного спектра (Логунова и др. 2014). Ориентационные компоненты двумерного пространственно-частотного спектра выделяют ориентационно-оппонентные рецептивные поля стриарной коры (ВА17) с весовыми функциями подобными элементам Габора, как и ячейки и диагональные составляющие уже рассмотренного шахматного паттерна.

Эта предварительная фильтрация в рецептивных полях нейронов ВА17 является своеобразным гримом, подчеркивающим мимические особенности лица. Эту информацию более высокие уровни «зрительного мозга» ВА37 или ВА21 используют для интерпретации мимики. Диагональная фильтрация, как и все процессы фильтрации, происходит неосознанно, но влияет на принятие решений наблюдателя о значении для него мимики другого человека (Logunova, Shelepin 2015).

Контроль неосознаваемого восприятия с помощью фМРТ

Методом функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) исследовали изменения активности мозга при неосознаваемом восприятии изображения — лица человека (Хараузов и др. 2015). Изображения маскировали с помощью динамической мультипликативной помехи, интенсивность которой подбирали таким образом, чтобы максимально затруднить восприятие лица. Внимание испытуемых отвлекали от скрытого изображения задачей слежения за движущимся объектом — кольцом Ландольта,

которое передвигалось по всему стимульному полю. Изменения уровня оксигенации крови (BOLD-сигнала), отражающего изменения нейронной активности в тканях мозга в ответ на предъявление замаскированных лиц, сравнивали с контрольными условиями, в которых динамическая помеха перекрывала скопление из случайно перемешанных фрагментов изображений лица. Таким образом, в обоих случаях основные физические характеристики стимуляции (яркость, контраст, размер, частота мелькания помехи), равно как и инструкция и сложность задания, оставались неизменными. Менялась лишь структура замаскированного изображения.

В ходе опроса, проведенного после эксперимента, выяснилось, что больше половины испытуемых (24 из 39) не заметили ничего, кроме движущегося кольца на фоне «мелькающего шума». Остальные 15 испытуемых доложили о «каких-то изображениях» в шуме. В основном сообщали лишь об очертаниях головы или о чем-то похожем на лицо, другие могли разглядеть одно или несколько лиц. Результаты этих испытуемых мы объединили в отдельную группу заметивших объект и сравнили с усредненными результатами по группе испытуемых, которые даже не догадались о существовании скрытых изображений в шуме. В обеих группах испытуемых предъявление изображений лиц вызывает достоверное увеличение активности в затылочно-височных областях мозга (в фузиформной извилине, или в ВА19 и ВА37 по Бродману). У испытуемых, заметивших скрытые лица, уровень активации в этих областях оказался достоверно выше, чем у не заметивших, по относительному количеству активированных вокселей в заданном объеме мозга. Дополнительных очагов активности, указывающих на осознанное восприятие лица, мы не выявили.

Локальные (соизмеримые с размерами рецептивных полей нейронов в ВА17 и ВА18) физические характеристики изображений и лиц и маски были одинаковы. Поэтому в ответ на лица и на маски различий в активации первичных зрительных областей у испытуемых в обеих группах мы не наблюдали.

С помощью фМРТ было показано, что даже если объект остался незамеченным, мозг наблюдателя неосознанно обрабатывает информацию о нем. Совпадение карт активации у испытуемых, заметивших или не заметивших скрытый объект, предполагает, что осознанное и неосознанное восприятие лиц обеспечивается одними и теми же структурами мозга. Переход к осознанному восприятию обеспечивается

за счет повышения активности областей мозга, участвующих в обработке данного сигнала. Эти результаты не исключают существования дополнительного, более быстрого пути проведения неосознаваемой информации, по которому могут проходить зрительные сигналы об опасности, требующие незамедлительной реакции всего организма (Tamietto, de Gelder 2010).

Контроль неосознаваемого восприятия с помощью регистраций движения глаз

С помощью анализа траектории движений глаз при рассматривании набора изображений было показано, что испытуемые чаще останавливают взор на изображениях, которые им были предъявлены ранее, на неосознаваемом уровне. Это доказывает, что зрительная информация, воспринятая на неосознаваемом уровне, некоторое время остается в памяти человека и способна влиять на траекторию движения взгляда (Шелепин и др. 2020).

Группе испытуемых из 13 человек предъявляли замаскированную фотографию мужского лица на периферии поля зрения. Маскировку осуществляли добавлением мультипликативной динамической помехи в виде случайного набора квадратов, 20 из которых были прозрачны и несли 20% информации об изображении, а остальные 80 были окрашены в серый цвет, скрывая 80% картинки. Положение прозрачных и непрозрачных окон менялось случайным образом каждые 100 мс. Закамуфлированные

изображения одного и того же лица предъявляли на периферии поля зрения — слева и справа от точки фиксации в центре экрана. Внимание испытуемых привлекали к центру экрана задачей по выравниванию яркости двух вертикальных полосок (рис. 3).

Длительность стимуляции составляла 3 мин. За это время, если человек не отвлекался от задачи и не отводил взгляд от центра экрана, он был не в состоянии заметить лицо, воспринимаемая мелькание на периферии как отвлекающий фактор, усложняющий выполнение задания по выравниванию яркости полосок. Практически все наблюдатели успешно справлялись с задачей выбора и не догадывались о том, что им предъявляли на самом деле. На вопрос «что вы видели на периферии?», который задавали наблюдателям после завершения стимуляции, большинство людей сообщали о «каких-то квадратиках», принимая их за отвлекающий фактор в ходе эксперимента. Из 13 человек только двое заметили скрытое изображение, поскольку не все время фиксировали взор в центре экрана.

Остальным 11 испытуемым, не заметившим лицо на периферии, сразу после стимуляции и опроса было предложено рассмотреть изображение, состоящее из 10 незнакомых мужских лиц, расположенных по кругу. Время просмотра составляло 30 с. Никаких дополнительных инструкций не давали. Во время просмотра у испытуемых регистрировали траекторию движения взгляда по этой картинке. Анализировали

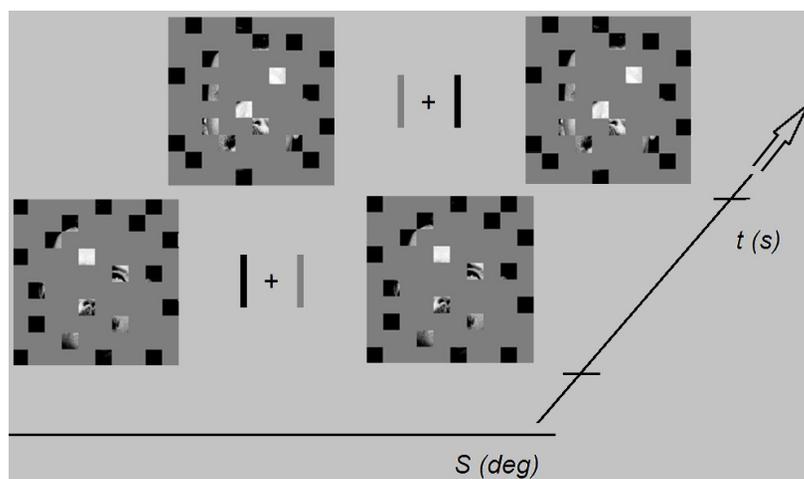


Рис. 3. Пример зрительного поля, в котором внимание испытуемого привлечено к задаче в центре экрана, а на периферии предъявляются замаскированные изображения лица. Показаны две реализации из множества (Шелепин и др. 2020)

Fig. 3. An example of a visual field where the attention of a test subject is drawn to a task in the center of the screen, while masked facial images are presented at the periphery. The figure shows two samples from the set (Shelepin et al. 2020)

количество перемещений взора и длительность фиксации на каждом из 10 лиц. Полученные данные сравнивали с результатами другой, контрольной группы испытуемых из 14 человек, которым до этого не проводили стимуляцию с замаскированным изображением.

Результаты анализа движений взора показали, что только те испытуемые, которым ранее предъявляли замаскированное изображение лица, чаще и дольше смотрят именно на это лицо. Эффект был особенно выражен в первые секунды рассматривания.

После обследования на айтрекере всем наблюдателям вновь предъявляли тот же набор лиц и предлагали указать лицо, которое им кажется знакомым. Примечательно, что несмотря на разные индивидуальные предпочтения и разный круг знакомых, треть наблюдателей указало именно на то лицо, которое на неосознаваемом уровне им предъявляли ранее. На вопрос, почему они выбрали именно это лицо, отвечали «не знаю», «видел по дороге сюда», «примелькалось где-то» и т. п.

Таким образом, несмотря на то, что наблюдателям в каждые 100 мс предъявляли лишь по 20% поверхности изображения лица, а их внимание было привлечено к работе с отвлекающим тестом в центре экрана и они ничего не замечали вокруг, в их памяти это лицо запечатлелось на неосознаваемом уровне. Вероятно, образ этого лица накапливается и запоминается наблюдателем, хотя им и не осознается. В результате при предъявлении этого изображения в круге среди других ему подобных наблюдатели большее время смотрят именно на него, хотя и не отдают себе отчет об этом.

Контроль неосознаваемого восприятия по произвольным движениям мимических мышц

Одним из возможных воздействий неосознанно воспринятой информации на состояние человека является изменение эмоционального фона. Поскольку такие воздействия очень слабы, обычными визуальными способами выявить изменение эмоций невозможно. Объективную информацию в данном случае может дать регистрация электрической активности мимических мышц. Современные методы электромиографии позволяют регистрировать не только движения лицевых мышц, но и слабые напряжения, невидимые простому глазу, отражающие изменения настроения.

В наших исследованиях электрическую активность мышц *Zygomaticus major* (растягивает

углы рта, активируется, когда человек улыбается) и *Corrugator supercilii* (сдвигает брови внутрь, активируется, когда человек хмурится) регистрировали у 12 испытуемых во время предъявления набора фотографий людей с различными эмоциями (Шелепин и др. 2020). Каждый наблюдатель участвовал в двух экспериментах: сначала вариант с неосознанным предъявлением эмоциональных стимулов, затем, после короткого отдыха, вариант с осознанным предъявлением. Дополнительно у всех испытуемых регистрировали изменения размера зрачка.

В качестве стимулов использовали изображения мужских и женских лиц с одной и той же эмоцией, скомпонованные в матрицы 2 × 2. Лица в матрицах могли быть веселые или грустные — назвали их «эмоциональными матрицами». Для создания условий неосознанного восприятия применили метод обратной визуальной маскировки. В качестве маскировочного изображения использовали матрицу, сходную по размеру с тестовыми матрицами, но состоящую из случайных фрагментов фотографий с нейтральной эмоцией.

Стимуляция начиналась с предъявления последовательности из двух маскировочных матриц, после которых предъявляли одну эмоциональную матрицу. Такой цикл повторяли три раза с разными реализациями матриц, но с одинаковой эмоцией. В итоге каждая такая последовательность содержала три разных реализации эмоциональных матриц одного типа — либо «веселье», либо «грустные». Многократное повторение маскировочных и эмоциональных матриц применили для того, чтобы максимально замаскировать эмоциональную матрицу и в то же время усилить сдвиг эмоционального состояния наблюдателя.

В конце каждого цикла экран в течение одной секунды оставался черным, затем появлялась тестовая матрица с нейтральными лицами. Задачей наблюдателя было оценить по методу принудительного выбора, к какому эмоциональному типу принадлежит данная матрица (в действительности — матрица «нейтральных лиц») — веселому или грустному, и нажать соответствующую кнопку. Такой вопрос предлагали наблюдателям для того, чтобы определить степень влияния предшествующих эмоциональных стимулов на эмоциональное восприятие нейтральных лиц. Сразу после нажатия наблюдателем на кнопку экран становился черным, и через некоторое время начиналась новая последовательность матриц. Фрагмент последовательности эмоциональных и маскировочных матриц представлен на рисунке 4.

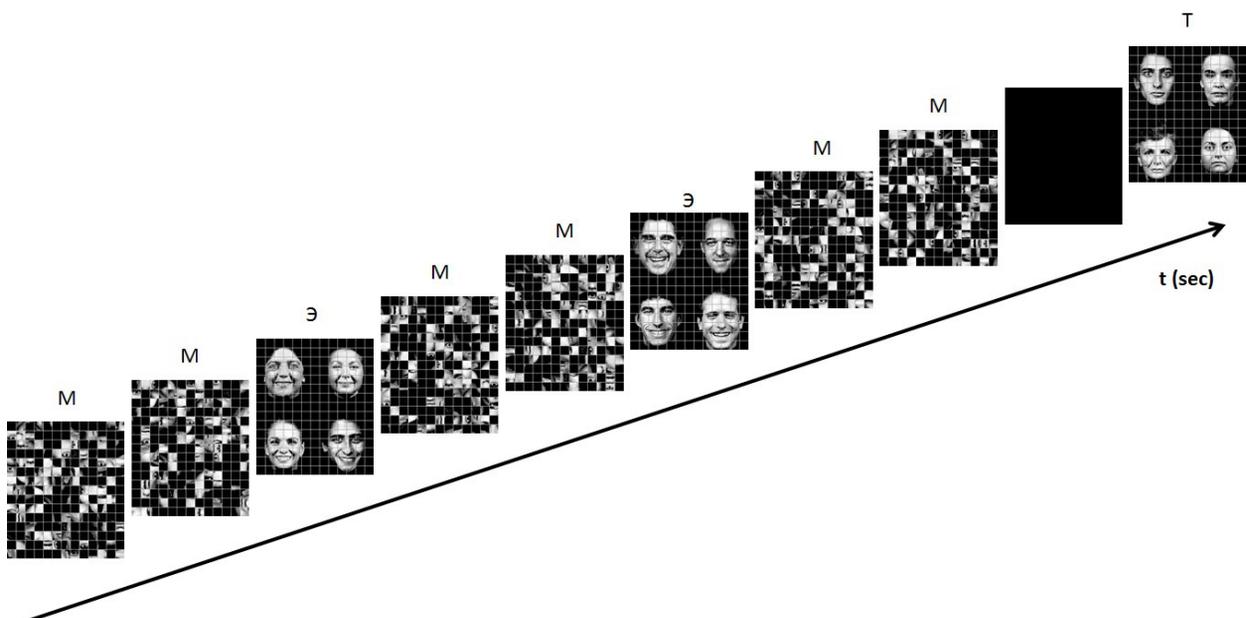


Рис. 4. Фрагмент последовательности предъявления маскировочных (М), эмоциональных (Э) и тестовых (Т) изображений

Fig. 4. A fragment from the sequence of masked (M), emotional (E) and test (T) images presented to test subjects

Длительность последовательности из маскировочных и эмоциональных матриц при осознанном и неосознанном предъявлении была одинакова и составляла 1,5 с. Однако в экспериментах с неосознаваемым предъявлением длительность одной маскировочной матрицы составляла 167 мс, а длительность предъявления одной эмоциональной матрицы была 42 мс. В экспериментах с осознанным предъявлением длительность одной маскировочной матрицы составляла 58 мс, а длительность предъявления одной эмоциональной матрицы — 333 мс. Соотношение времен предъявления эмоциональной и маскировочной матрицы было подобрано эмпирически так, чтобы в случае неосознанного предъявления исключить всякую возможность со стороны наблюдателя заметить вставку с эмоциональной матрицей. Наоборот, время предъявления эмоциональной матрицы в случае осознанного предъявления (333 мс) было достаточным для того, чтобы наблюдатели могли увидеть лица и легко определить знак эмоции в изображении.

Анализ ответов испытуемых, когда они должны были оценивать эмоциональную окраску «нейтральных» тестовых матриц лиц по методу принудительного выбора, показал, что их выбор не зависит от того, какого знака эмоция предъявлялась до этого. В обоих вариантах стимуляции, как при осознанном, так и при неосознанном предъявлении эмоциональных матриц, предшествовавших выбору, оценка тестовых

нейтральных матриц колебалась в районе 50% (49,6 и 50,3 соответственно), то есть испытуемые осуществляли случайное гадание.

Изменение тонуса лицевых мышц в ответ на предъявление эмоциональных матриц оценивали по изменениям стандартного отклонения сигнала электромиограммы (ЭМГ) в плавающем временном окне 1000 мс со сдвигом 2 мс. На рисунке 5 представлены результаты анализа ЭМГ мышцы *Zygomaticus major*, растягивающей углы рта в улыбку, во время осознанного (слева) и неосознанного (справа) восприятия веселых и грустных фотографий. Данные усреднены по результатам 12 испытуемых.

Видно, что в обоих режимах восприятия тонус этой мышцы увеличивается в ответ на предъявление фотографий с положительными эмоциями, то есть испытуемые неконтролируемо и незаметно для стороннего наблюдателя улыбаются в это время. Предъявление фотографий с грустными лицами, наоборот, приводит к уменьшению напряжения в мышце *Zygomaticus major* — улыбка «сходит с лица» испытуемых. Статистический анализ доказал достоверность отличий в реакциях на грустные и веселые лица, как при осознанном наблюдении, так и в случае с неосознаваемым восприятием (парный непараметрический t-критерий, $p < 0,05$).

Мышца *Corrugator supercilii* (сдвигает брови, когда человек хмурится) также изменяла свой тонус в обоих режимах восприятия. В ответ

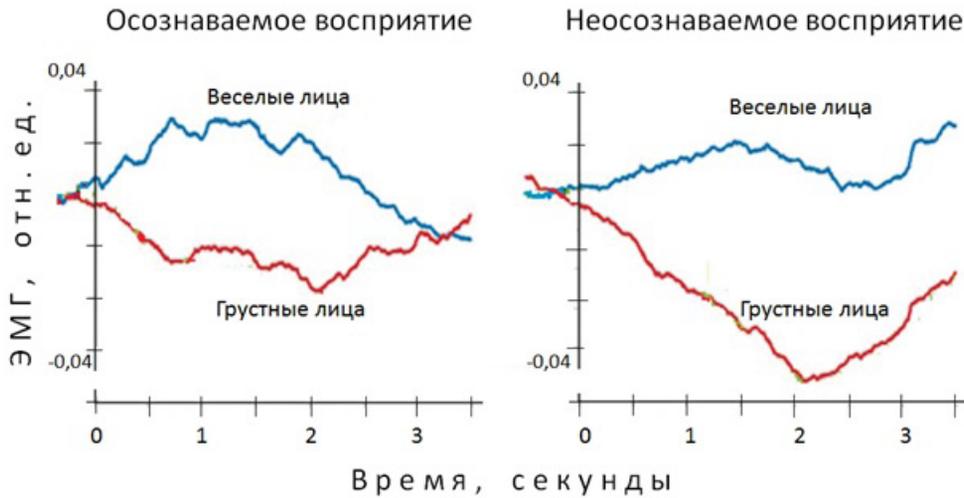


Рис. 5. Изменение электрического тонуса мышцы *Zygomaticus major* (улыбка) при осознаваемом и неосознаваемом восприятии изображений, содержащих веселые и грустные лица. Ноль по оси абсцисс — начало стимуляции. Усреднено по 12 испытуемым (Шелепин и др. 2020)

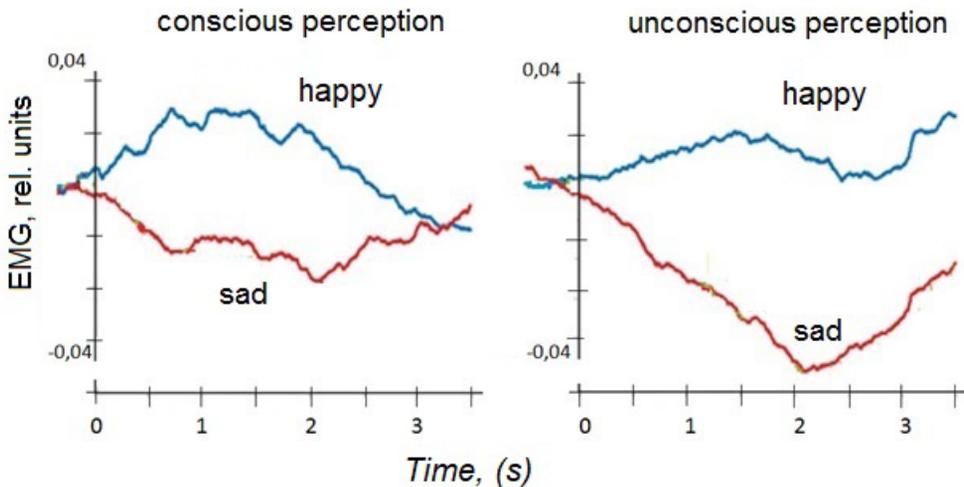


Fig. 5. Changes in the electrical tone of the *Zygomaticus major* muscle (smile) with conscious and unconscious perception of images containing happy and sad faces. Zero on the abscissa axis is the start of stimulation (Time, s). Averaged over 12 subjects (Shelepin et al. 2020)

на предъявление грустных лиц напряжение этой мышцы было сильнее, чем в ответ на веселые лица, то есть испытуемые больше хмурятся при восприятии грустных лиц. Наблюдаемые различия не достигли статистической значимости, однако тот факт, что кривые расходятся одинаковым образом в двух отдельных экспериментах, с осознанным и неосознанным восприятием, позволяет допустить, что они неслучайны.

Таким образом, регистрация электромиограммы позволяет зафиксировать эмоциональную реакцию человека при восприятии эмоционально окрашенных стимулов как на осознаваемом, так и на неосознаваемом уровне. Наши данные согласуются с результатами исследований,

проведенных на пациентах с кортикальным зрительным neglectом. Когда этим пациентам предъявляли эмоциональные фотографии в ту область поля зрения, которую они игнорируют (не осознают), на электромиограмме лицевых мышц фиксировали реакции, соответствующие знаку эмоций на стимуле (Tamietto, de Gelder 2010).

Метод ЭМГ отличается высокой точностью, но имеет недостаток — необходимость контактного измерения мимических реакций наблюдателя и применение электродов, накладываемых на кожу лица. Гораздо удобнее проводить дистанционные измерения. Напряжение мимических мышц легко зафиксировать дистанционно

оптическими методами в инфракрасном (ИК) диапазоне. Изображения, приемлемые для распознавания мимики, можно получить в диапазоне ИК излучения от 8 до 14 мкм. Нечеткие изображения, получаемые в ИК-диапазоне, позволяют увидеть различия в мимической деформации изображений светлых и темных участков лица (рис. 6).

Для автоматического распознавания пороговых изменений мимики ИК изображений необходимо применить сверточную нейронную сеть (Zhukova, Malakhova 2019).

Электроэнцефалографический контроль неосознаваемого восприятия

Особое значение имеют исследования по поиску электрофизиологических маркеров неосознаваемого восприятия угрозы (Хараузов и др. 2020). В качестве угрожающих стимулов были выбраны изображения паука, а в качестве испытуемых подобрали группу арахнофобов — людей, проявляющих патологический страх перед этими членистоногими. Отбор в группу арахнофобов проводили на основе тестирования по методу Фредриксона (Fredrikson 1983). Изменения зрительных вызванных потенциалов мозга при неосознаваемом восприятии движущихся пауков сравнивали с реакцией на летящих бабочек (нейтральный стимул). Аналогичное исследование затем повторили на группе испытуемых, не испытывающих страха перед

пауками, и провели сравнительный анализ зрительных вызванных потенциалов в двух группах.

Для обеспечения «невидимости» тестовых объектов в условиях неосознаваемого восприятия применили метод обратной зрительной маскировки и отвлечения внимания. Маскировочными изображениями являлись перемешанные случайным образом фрагменты тестовых объектов (паука и бабочки). Временные характеристики стимуляции были подобраны эмпирически таким образом, чтобы исключить возможность заметить скрытый стимул. Тестовые стимулы предъявляли на 42 мс, маскировочные изображения предъявляли на 58 мс. Стимуляцию проводили на периферии поля зрения, слева и справа от точки фиксации. Внимание испытуемых отвлекали задачей определения направления разрыва в кольце Ландольта, расположенного в центре экрана. После эксперимента, который длился 14 минут, каждого испытуемого спрашивали, что он видел. Никто из опрошенных не сообщил о наличии вставок в шум, все воспринимали мелькания на периферии как отвлекающий фактор.

На рисунке 7 сверху представлены три типа изображений: нейтральный (бабочка), маскировочный и опасный (паук). Внизу представлены результаты усреднения зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) в затылочной области у всех 24 испытуемых (как «арахнофобы», так и «норма») в ответ на неосознаваемое предъявление

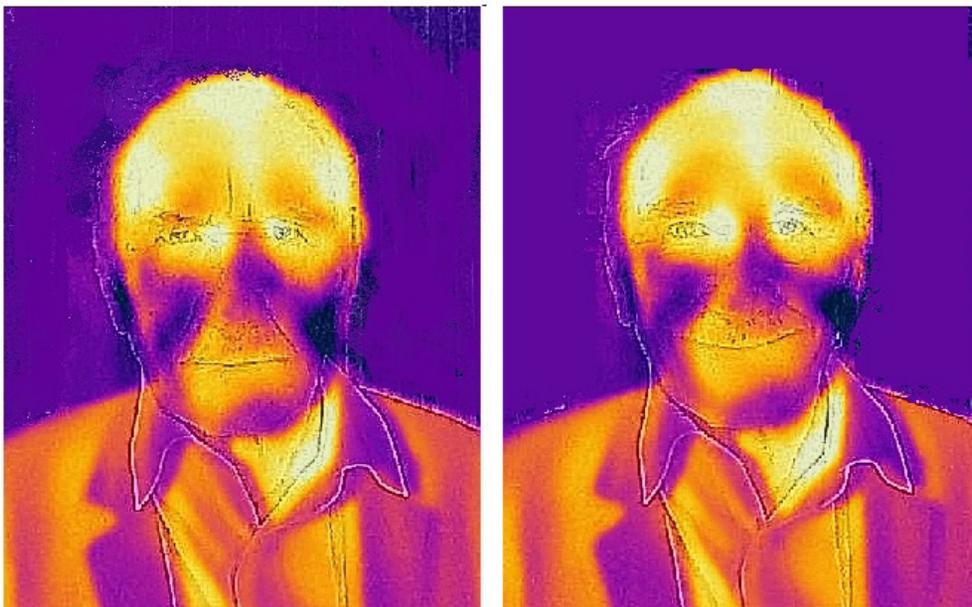


Рис. 6. Изображение лица человека в инфракрасном диапазоне: грусть (*Corrugator supercilii*), улыбка (*Zygomaticus major*)

Fig. 6. Infrared image of a person's face: sad (*Corrugator supercilii*), happy (*Zygomaticus major*)

опасных и нейтральных стимулов. Можно заметить, что вызванные потенциалы на всем протяжении, как до стимула, так и после него, имеют четкую периодичность, что обусловлено постоянными мельканиями маскировочных изображений. В правом нижнем углу

рисунка 7 представлены увеличенные фрагменты ЗВП во временном окне, в котором развивается положительная волна P300. Для сравнения представлены результаты, отдельно полученные в группе «арахнофобы» и в группе «норма».

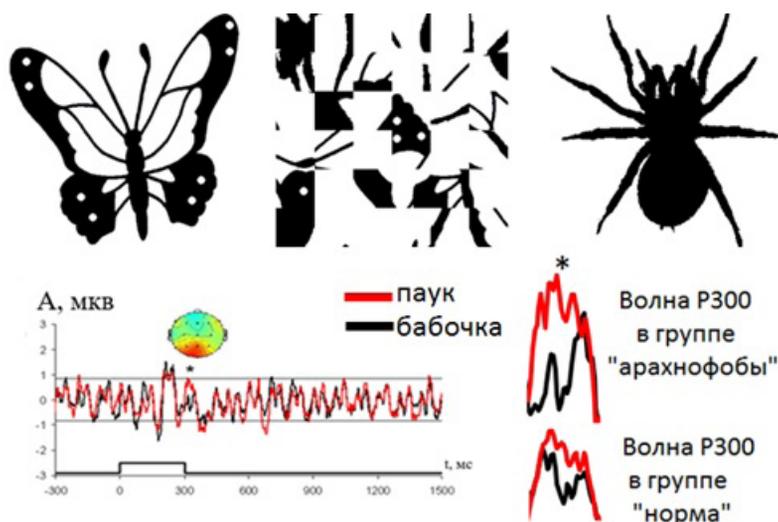


Рис. 7. Вверху — зрительные стимулы, предъявляемые в эксперименте. Бабочка (нейтральный), паук (опасный) и маскировочное изображение, состоящее из фрагментов паука и бабочки. Внизу — вызванные потенциалы в ответ на неосознаваемое предъявление нейтральных (черные) и опасных (красные) стимулов, регистрируемые в центре затылочной области (Oz). Усреднение по всем 24 испытуемым. Звездочкой указаны достоверные различия в амплитуде волны P300 ($p < 0,05$, двухсторонний t-тест). Над звездочкой — топограмма распределения амплитуды волны P300 мс. Две тонкие горизонтальные линии, ограничивающие ВП, показывают интервал ($\pm 2\sigma$), в который должно попадать 94,6% всех значений амплитуды. Под рисунком, рядом с осью времени, показана отметка включения и длительности стимула. Справа показана волна ВП P300 отдельно в группе «арахнофобы» (11 человек) и в группе «норма» (13 человек) (Хараузов и др. 2020)

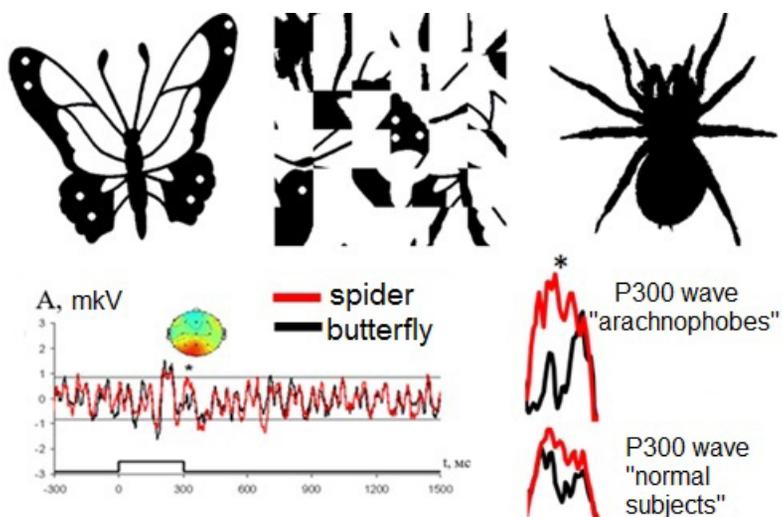


Fig. 7. Top: Visual stimuli presented in the experiment. Butterfly (neutral), spider (dangerous) and a masked image with elements of a spider and a butterfly. Bottom: Evoked potentials in response to unconscious presentation of neutral (black) and dangerous (red) stimuli recorded in the center of the occipital region (Oz). Averaging over all 24 subjects. An asterisk indicates significant differences in the amplitude of the P300 wave ($p < 0.05$, two-sided t-test). Above the asterisk is the topogram of the P300 ms wave amplitude distribution. The two thin horizontal lines that limit the EP show the interval ($\pm 2\sigma$), in which 94.6% of all amplitude values should fall. Below the figure, next to the time axis, the start and duration of the stimulus is shown.

On the right, the wave of EP P300 is shown separately for the group “arachnophobes” (11 subjects) and the group “normal” (13 subjects) (Kharauzov et al. 2020)

У испытуемых в группе арахнофобов положительная волна с латентным периодом 300 мс была значимо больше в ответ на предъявление пауков по сравнению с ответами на бабочек ($p < 0,05$, двусторонний t -тест). У испытуемых с нейтральным отношением к паукам мы также наблюдали увеличение амплитуды этой волны в ответ на предъявление пауков, но оно не достигло уровня статистической значимости.

Возможно, наблюдаемая в наших условиях волна является аналогом широко известного компонента P300, который иногда рассматривают в качестве маркера внимания в ЭЭГ. Известно, что на амплитуду данного компонента влияет много факторов, один из которых — эмоциональная значимость стимула. Важно подчеркнуть, что увеличение амплитуды P300 не является специфичным в отношении негативных стимулов, а может быть ответной реакцией на все эмоционально значимые стимулы, в том числе и положительные. В нашем исследовании более высокая амплитуда данного компонента, вероятно, связана с более высоким уровнем значимости опасных стимулов (пауков) для «арахнофобов» в сравнении с изображениями, не представляющими угрозу. Таким образом, положительную волну вызванного потенциала, регистрируемую в центре затылочной области с латентным периодом 300 мс, в наших условиях стимуляции можно рассматривать как электрофизиологический маркер неосознанного восприятия угрозы.

Влияние неосознаваемого восприятия на принятие решений

В психофизических экспериментах обычно исследуют влияние неосознанно воспринятых сигналов на процент правильных ответов и на время реакции (прайминг-эффект). Это представляет большой интерес, так как, анализируя

ответную реакцию испытуемых, мы изучаем последний, наивысший этап обработки информации — процесс принятия решений. Вопрос о том, при каких условиях неосознанно воспринятая информация будет влиять на процесс принятия решений, до сих пор остается открытым.

Для ответа на данный вопрос в нашей лаборатории Ольгой Вахрамеевой и ее соавторами было проведено специальное исследование. Был подготовлен набор стимулов на основе японского алфавита — хираганы. Для работы были отобраны семь наиболее простых и при этом непохожих друг на друга символов. Это оказалось оптимальным набором для исследования прайминг-эффекта, так как, с одной стороны, символы простые и похожи на буквы, с другой — большинство наблюдателей никогда их не встречало (Вахрамеева и др. 2016).

На рисунке 8 вверху представлен набор используемых символов, внизу представлены те же символы, но с наложенным бинарным мультипликативным шумом.

Задачей испытуемых было запомнить символ, предъявленный на короткое время в центре экрана, и затем выбрать его из четырех символов, расположенных на периферии поля зрения. Перед принятием решения на короткое время предъявляли стимул-подсказку, который мог быть верным (конгруэнтный праймер) или неверным (неконгруэнтный праймер). Исследовали влияние относительного размера тестовых стимулов и праймеров, временных характеристик предъявления символов, наличия/отсутствия помехи на процент правильных ответов и на время реакции при выполнении задачи принудительного выбора.

В результате было сделано два важных наблюдения относительно эффективности влияния подсказки (праймера) на процесс принятия решений. Первое — прайминг зависит от соотношения



Рис. 8. Используемый в эксперименте набор стимулов без шума (вверху) и с мультипликативным шумом, перекрывающим 40% изображения (внизу) (Вахрамеева и др. 2016)

Fig. 8. The set of stimuli used in the experiment: without noise (top) and with multiplicative noise covering 40% of the image (bottom) (Vakhrameeva et al. 2016)

размеров тестового изображения и подсказки. Оказалось, что подсказка работает, только если сигналы относятся к одной системе зрительных каналов: фовеолярных или парафовеолярных. Второе — прайминг-эффект был обнаружен только при наиболее сложных условиях задачи (при наложении мультипликативной помехи). Это означает, что человек «прислушивается» к неосознанно воспринятой подсказке только в случае неопределенности, когда принятие решения дается с трудом.

Таким образом, воспринятая неосознанно зрительная информация может храниться в памяти, изменять эмоциональный фон человека, влиять на принятие решений, предупреждать об опасности. Предположительно, способность мозга неосознанно обрабатывать информацию — это врожденный адаптационный механизм, который помогает выживать в опасных условиях окружающей среды. Это то, что мы называем интуицией.

Роль неосознаваемых сигналов в выработке навыка распознавания цели

Взаимодействие осознаваемого и неосознаваемого восприятия происходит при выработке навыка в условиях целенаправленной деятельности на примере повышения эффективности зрительного поиска информативных признаков на лице пациентов в зависимости от опыта врачей, осуществляющих предварительный осмотр пациента (Скуратова и др. 2021). В ходе проведенного исследования показано, что по мере того, как врачи совершенствуют свои

навыки, длительность фиксаций их взора на информативных участках лица пациента возрастает, но при этом они совершают меньше лишних фиксаций, поэтому тратят меньше времени на просмотр лица для постановки диагноза. В итоге сокращается общая длина пути сканирования по сравнению с начинающими врачами (рис. 9).

Можно предположить, что улучшение показателей характеристик движений глаз при накоплении опыта связано с обучением распознавания низкочастотных изображений, представленных периферией поля зрения, для последующего перевода взора на значимые для диагноза информативные признаки (Скуратова и др. 2021). Выработка навыка в этом, как и в любом другом деле — это в основном неосознаваемый процесс. Опыт и навык работы облегчает ее выполнение. Опыт обучения определяется числом наблюдаемых врачом случаев за определенный период.

По мере того как врач приобретает опыт работы, у него уже на начальном этапе осмотра пациента, в момент создания общего впечатления, вырабатываются все менее затратные по времени алгоритмы поиска цели. Общее впечатление строится на грубом, низкочастотном описании и затем сравнивается с более полным высокочастотным описанием диагностических признаков, собираемых по частям для формирования когнитивной схемы того, какая информация содержится в наблюдаемом изображении. Затем центральное зрение фокусируется на тех областях, которые осознанно или неосознанно на первом этапе отмечены

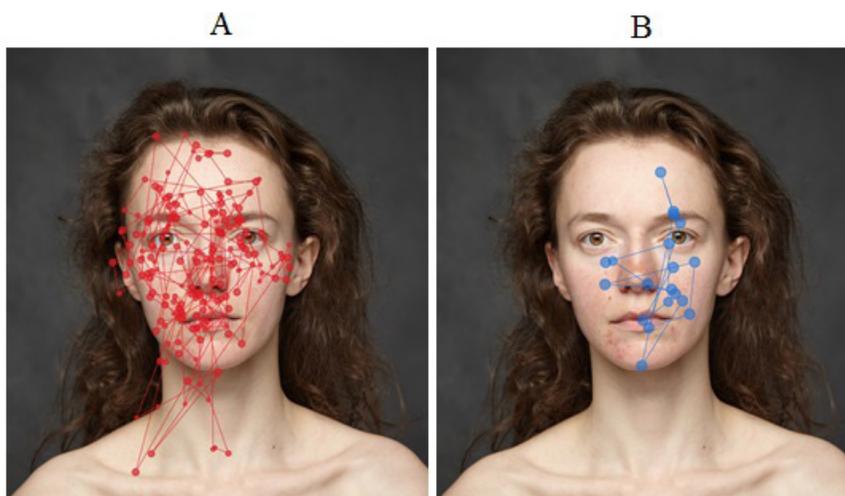


Рис. 9. Направление движения (линии) и остановки (точки) взора врача-дерматокосметолога начинающего (А) и опытного (В) по изображению лица пациента (Скуратова и др. 2021)

Fig. 9. Direction of eye movement, face, gaze (line) and stop gaze (point) of a beginner (A) and experienced (B) doctor across the image of the patient's face (Skuratova et al. 2021)

врачом как цели. Много целей нельзя отслеживать одновременно (Sergeev 2021), поэтому знание опытными врачами того, что требует осмотра, а что нет, позволяет им быстрее находить диагностически важные участки и фокусировать на них внимание. Восприятие с двумя проводящими путями обработки зрительной информации включает в себя осознаваемый и неосознаваемый пути зрительного поиска. Неосознаваемый поиск происходит при помощи глобального, перископического зрения, функции которого заключаются в обнаружении и предварительном распознавании цели для дальнейшего анализа с помощью фовеолярного зрения.

Обучение происходит в системе обнаружения стимула, обеспечивающей обнаружение цели и запуск движений глаз. Эта система перископического зрения осуществляет вырожденное, а именно низкочастотное описание цели. Именно из этого вырожденного описания наблюдателю необходимо обучиться извлекать максимально полезную информацию об информативных признаках цели. Эти признаки заболевания полностью представлены во всем видимом пространственно-частотном спектре изображения, но подробно представлены в высокочастотной составляющей пространственно-частотного спектра. Поэтому врачу требуется научиться по косвенным, неосознаваемым, признакам симптома выделять его в малоинформативном низкочастотном описании. Результат этого обучения — выделение периферическим зрением того, что запомнили до этого при детальном рассмотрении фовеолярным зрением, и составляет суть навыка. Способность целостно воспринимать лицо пациента позволяет опытным специалистам сокращать общую длину пути сканирования по сравнению с начинающими врачами. Аналогичная стратегия выработки навыка характерна практически для всех профессий.

Алгоритмы поиска, присущие зрительной системе человека, отобраны в процессе длительной эволюции, поэтому представляют интерес для развития эффективных алгоритмов обучения искусственных нейронных сетей. Например, совершенствовать алгоритм, который вначале с низким разрешением анализирует все изображение, а потом ищет локальные признаки (Wang et al. 2020). Благодаря более низким затратам ресурсов низкочастотный классификатор может быть эффективно использован уже на первом шаге Классификатора Наименьшего Действия (Malashin 2021).

Таким образом, навык минимизирует движения глаз и сокращает время поиска цели. Улучшение показателей характеристик движений глаз при накоплении опыта связано с обучением распознавания малоинформативных низкочастотных изображений, представляемых периферией поля зрения для управления переводом взора человека. Особенности перестройки движений глаз при обучении и достижении навыка косвенно отражают процесс перестройки нейронных сетей зрительной и глазодвигательной систем.

Физиологические механизмы передачи неосознаваемой информации в зрительной системе

Количество информации в процессе описания на уровне сетчатки глаза очень велико, хотя и сжимается при переходе от описания на уровне рецепторов к описанию на уровне ганглиозных клеток и составляет в зрительном нерве $4,56 \times 10^6$ бит в секунду (Schober 1956). Количество информации, которую можно осознанно извлечь из описания изображения, формируемого на сетчатке, значительно меньше. Так, по данным Глезера и Цуккермана эта величина составляет всего 10 двоичных единиц при распознавании контурных изображений при условии, что алфавит объектов в тестовых изображениях не был выучен, и 40 двоичных единиц, если алфавит был выучен (Глезер, Цуккерман 1961). Одним из ограничивающих факторов количества осознанно воспринимаемой информации является фактор избирательного внимания (Tsotsos et al. 2021; Vergheze, Pelli 1992), которое зависит от функционального состояния всего организма, мотивов и цели деятельности. Управление вниманием происходит в результате взаимодействия внутренних и внешних факторов. Внешние факторы определяются соотношением сигнала и помехи. В лабораторных условиях методами цифровой обработки изображений можно смоделировать фоно-целевую обстановку любой сложности, регулируя параметры сигнал/шум (Шелепин и др. 2020). Мы в своих работах применяли маскировку сигнала — предъявляли стимулы на периферии поля зрения и/или в центре поля зрения, но с такими пространственно-временными характеристиками, чтобы исключить возможность наблюдателя заметить скрытую нами вставку. Но гипотеза об избирательном внимании как о факторе, ограничивающем осознанное восприятие, не позволяет понять, для чего вводится в мозг

огромная информация об изображении наблюдаемой сцены и куда она якобы «пропадает».

Известно, что информация из сетчатки глаза по зрительному нерву и далее по зрительному тракту поступает в комплекс подкорковых ядер. В разных ядрах и/или частях ядер оканчиваются аксоны разных типов ганглиозных клеток сетчатки. Ганглиозные клетки отличаются по форме, размерам и функции. Каждый определенный тип ганглиозных клеток выделяет из изображения на сетчатке свою пространственную, временную и цветовую информацию.

Наибольшее количество информации передает система каналов, организованных мелкими клетками. Они представляют фовеа и передают высокочастотную пространственную информацию, но у них низкие временные передаточные характеристики.

Вторая система каналов — крупноклеточная. В них происходит передача низкочастотной пространственной информации с высокочастотной временной характеристикой. Низкочастотное описание всего поля зрения оказывает выраженное эмоциональное воздействие на наблюдателя, хотя зачастую это не осознается.

Наибольшее число волокон присутствует в ретино-геникулярном пути. Они образованы аксонами ганглиозных клеток различных типов. Обычно выделяют около восьми (см. обзор: Подвигин и др. 1986). Основная масса волокон, идущих в НКТ, это тонкие аксоны мелких клеток. Система каналов, организованных этими мелкими клетками, передает наибольшее количество информации. Они передают преимущественно средне- и высокочастотную пространственную информацию. Рецептивные поля этих клеток в основном представляют центр сетчатки фовеа. В результате возникающая уже на уровне сетчатки неоднородность описания поля зрения позволяет выделять нужную полосу временных и пространственных частот. Во временной области каналы, образованные мелкими клетками, передают пространственную информацию с меньшей скоростью, чем каналы, настроенные на низкие пространственные частоты. В результате в наблюдаемом изображении осознанно и четко воспринимаются именно те части сцены, на которые направлен взор и переведена фовеа. Другие части сцены либо восприняты нечетко, либо неосознанно. Избирательное внимание переводит взор человека за счет оппонентного многоуровневого взаимодействия корковых и подкорковых структур (Reimer et al. 2016; Tsotsos et al. 2021; Vuilleumier, Driver 2007).

Синхронная работа каналов обеспечивает объективное восприятие действительности.

Некоторые виды наркоза блокируют работу лишь одного канала (Merigan et al. 1991). Рассогласование реципрокной работы крупно- и мелкоклеточных каналов нарушает сознание и создает негативное искаженное восприятие среды (Шелепин и др. 1997). Реципрокные (оппонентные) отношения со времен Клода Бернара (Бернар 1867) являются основной моделью всех физиологических процессов.

От сетчатки помимо наружного коленчатого тела зрительная информация поступает и на другие подкорковые ядра. Происходит разделение каналов, несущих осознанную и неосознанную информацию в наружное коленчатое тело, верхние бугры четверохолмия, в пульвинар и в амигдалу (Hurme et al. 2019). Рецептивные поля нейронов пульвинар и амигдаларного комплекса пропускают низкие пространственные частоты. Поэтому при разрушении НКТ и ВА17 восприятие возможно лишь с малым разрешением. Вероятно, ретино-пульвинарный путь — один из путей представления размытых изображений в подсознание. Клинические исследования позволяют это предполагать (Ajina, Bridge 2017; Ajina et al. 2020; Halbertsma et al. 2021; Merigan, Pasternak 2003; Weiskrantz 2003).

В норме из поля ВА17 (стриарной коры) по вентральному тракту в перистриарную кору в ВА19, ВА37 и затем в нижнее височное поле идет описание изображений, инвариантное к масштабным преобразованиям объектов (Глезер 1993). Так как разрушение вентральной части височной коры приводит к агнозиям, предполагают, что здесь расположен тезаурус описания объектов, «хранящийся» в височной доле (Nam et al. 2021). Но нижневисочная кора — это своеобразный тезаурус. Он не работает как толковый словарь имен существительных, в котором роется гомункулус избирательного внимания. Нейронная сеть задней части нижневисочной коры строит инвариантное описание изображений. Поэтому именно в сети ВА17 — ВА37 формируется согласованный фильтр, который обеспечивает распознавание и классификацию образа объекта или сцены (Красильников и др. 1999; Шелепин и др. 2015). Передняя часть нижневисочной области совместно с префронтальной корой и подкорковыми ядрами обеспечивают выбор цели. Этот выбор происходит на основе оценки вероятности ассоциации наблюдаемого объекта с его когнитивной и эмоциональной значимостью, с вознаграждением или с наказанием, так как после полного двустороннего разрушения нижневисочной коры эта оценка становится невозможной. Развивается синдром Клувера — Бьюси — сочетание

душевной слепоты (агнозии) и отсутствия эмоциональных реакций (Das, Siddiqui 2020; Klüver, Bicy 1937; Lilly et al. 1983). На основании данной симптоматики можно утверждать, что именно нейронная сеть, включающая нижневисочную кору, амигдаллярный комплекс, гипоталамус и фронтальную кору, вовлечена в оценку отношения наблюдателя к выбору цели, обеспечивает оценку рисков при выборе цели и даже остановку выбранного действия (Цветков, Краснощекова 2020; Bechara et al. 1999; Farah 1990; Goodale, Milner 2004; Panakhova 2002; Ponomarev, Kropotov 2021; Rolls 2014).

Из затылочной коры кроме вентрального пути еще идет задний дорзальный путь. Этот тракт направляется к теменной коре и передает преимущественно низкую пространственную частоту с высокой временной частотой. Основной функцией этого пути является анализ характера динамических изменений и положения в пространстве зрительного объекта, локализации объекта в поле зрения относительно схемы тела наблюдателя. Дорзальная нейронная сеть, или «путь» зрительной системы «затылок — темя», захватывающий огромные области от BA17 до BA7, обеспечивает согласование описанного в затылочной коре наблюдаемого объекта и описания схемы тела, систем управления мимикой, движениями глаз и рукой (Huvarinen, Shelepin 1979).

Деятельность дорзальных и вентральных нейронных путей обычно ассоциируют с ответами на вопросы «где?» и «что?» соответственно (Markov et al. 2013; Merigan, Pasternak 2003; Mishkin et al. 1983; Sheth, Young 2016; Weiskrantz 2003). Взаимодействие с дорзальной системой обеспечивает способ достижения цели при согласовании со схемой тела. Для адекватного принятия решения необходимо включение лобных долей. Нейронные сети именно лобной коры обеспечивают принятие решения и управляют внутренним, произвольным избирательным вниманием, планированием действий и управлением перевода взгляда на цель (Duke-Elder 1962; Funahashi 2017; Sani et al. 2021; Struss, Knight 2002). Прямых связей между первичной зрительной корой BA17 и лобной, а именно префронтальной, корой нет у человека и у других приматов. Между ними включены зоны перистриарной, нижневисочной и теменной коры (Kawamura, Naito 1984). Именно оппонентные зоны префронтальной коры обеспечивают принятие решений и планирование действий (Kropotov, Etlinger 1999; Ponomarev, Kropotov 2021).

Вся многоуровневая и многоканальная обработка зрительной информации служит для

описания наблюдаемой сцены. Именно необходимость описания сцены порождает знаменитые вопросы «что?» и «где?». Предлагаем, однако, рассмотреть возможность дополнить или, может быть, заменить их на почти аналогичные, но имеющие иной смысл и открывающие новые перспективы понимания работы мозга вопросы. Они будут связаны не только с предметами и сценами, но и с алгоритмами их действий в этих сценах. Уточним предлагаемые вопросы. Первый — «что это тебе даст: пользу или вред?», то есть происходит построение отношения к объекту. Происходит осознанный и неосознанный запуск извлечения информации из памяти.

Второй вопрос — не просто «где?», а «как надо достичь цели?», ответ на который формирует определенную последовательность действий, обеспечивающих достижение цели.

Подобная формулировка описания функций дорзальных и вентральных нейронных сетей связана с тем, что и в ту, и в другую нейронную сеть приходит информация и о сцене, и об объектах в этой сцене, но с разным пространственным и временным разрешением. В одной из этих сетей, дорзальной, происходит согласование наблюдаемой сцены со схемой тела наблюдателя, а в другой, вентральной, — с вероятностью опасности или выгоды для субъекта. Если вентральная сеть определила то, что цель лакомая, то дорзальная сеть программирует последовательность действий для достижения лакомой цели. Эти процессы происходят как на осознанном, так и на неосознанном уровне.

Итак, мы знаем, что зрительный канал, идущий из НКТ в дорзальную (затылочно-теменно-лобную) нейронную сеть, организован крупными аксонами и большими рецептивными полями и передает преимущественно низкие пространственные частоты. Дорзальная нейронная сеть определяет расположение цели — «где?». Информация по этому пути передается несколько быстрее, чем по вентральному пути (затылочно-височно-лобный). Вентральная нейронная сеть определяет значение цели — «кто (или что)?». Какое значение это имеет для человека? Представляет опасность или нет? Эти процессы происходят достаточно быстро — за первые 100 мс.

Затем дорзальная нейронная сеть, получив информацию об объекте, запускает процесс работы алгоритмов планирования действий по отношению к цели. Все это занимает около 300 мс. За это время происходит оценка вероятности появления цели и ее значения — враг или друг. Чем выше вероятность опасности цели,

тем больше амплитуда компонентов вызванных потенциалов в решающий для принятия решения после обнаружения стимула период с латентностью 200–300 мс. Это мы и видели на примере неосознаваемого восприятия изображений паука или бабочки у арахнофобов (Хараузов и др. 2020). Различные статистики ландшафтов также вызывают разные по амплитуде компоненты с латентностью 200–300 мс (Hansen et al. 2012).

Если описывать эти процессы на языке информационных технологий, можно дорзальную и вентральную нейронную сеть сопоставить с двумя типами языков машинного программирования: императивного как описание того, как надо делать, и декларативного, что надо делать.

Традиционное применение императивного и декларативного языков программирования (Fahland et al. 2009) в настоящее время сохраняется в гибридном подходе при решении задач искусственного интеллекта и машинного обучения (Elshawi et al. 2018; Kordjamshidi et al. 2019; Wallace, Valdivia 2020) и в нейрофизиологических исследованиях (Anastasio 2015).

Применительно к нашим экспериментам в таблице 1 проведены весьма отдаленные аналогии между двумя типами программирования, двумя типами психологических процессов и двумя нейронными сетями.

Таким образом, мы переходим от статических описаний явлений к описаниям динамических процессов и алгоритмам. При такой постановке

Табл. 1. Осознанное и неосознанное зрение

Осознаваемое восприятие	Неосознаваемое восприятие
Избирательное целенаправленное внимание	Распределенное внимание готовности
Полосовой пространственно-частотный фильтр преимущественно средне- и высокочастотный	Полосовой пространственно-частотный фильтр преимущественно средне- и низкочастотный
Временной фильтр низкочастотный	Временной фильтр высокочастотный
Память семантическая доминирует	Память процедурная доминирует
Эксплицитный тип извлечения информации из памяти доминирует	Имплицитный тип извлечения информации из памяти доминирует
Декларативный алгоритм	Императивный алгоритм

Table 1. Conscious and unconscious vision

Conscious perception	Unconscious perception
Selective attention to the goal	Alarm dispersed attention
High and middle spatial band pass filter mainly	Low and middle spatial band pass filter mainly
Low temporal band pass	High temporal band pass
Semantic memory dominate	Procedural memory dominate
Explicit memory dominate	Implicit memory dominate
Declarative algorithms	Imperative algorithms

вопроса мы получаем возможность рассмотреть две оппонентные нейронные сети головного мозга как динамический конструктив, осознанно и неосознанно осуществляющий выполнение того или иного алгоритма действий человека, необходимых для выживания в сложных условиях эволюционного и исторического отбора.

Заключение

В данной статье представлены результаты собственных исследований выявления маркеров неосознаваемого восприятия и принятия решений. Наличие неосознанно воспринятой информации в условиях неопределенности обычно нельзя установить субъективными методами. Для этого необходимо провести физиологический контроль, что и было сделано. Представлены результаты электроэнцефалографических исследований, измерений движения глаз и напряжения лицевых мышц, проведена функциональная магнитно-резонансная томография и выполнены психофизические измерения. На основании результатов проведенных исследований выявлены физиологические маркеры неосознанного восприятия зрительного сигнала и его влияния на принятие решений, произвольные движения и целенаправленную деятельность человека.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Соответствие принципам этики

Исследования были проведены полностью в соответствии с этическими принципами.

Ethics Approval

The studies were conducted in full accordance with ethical principles.

Вклад авторов

а. Юрий Евгеньевич Шелепин — формулирование цели работы, планирование экспериментов, написание статьи, разработка многоканальной модели осознанного-неосознанного

восприятия и оппонентного взаимодействия каналов;

б. Алексей Кольмарович Хараузов — планирование экспериментов, проведение томографических и электрофизиологических исследований, анализ и описание результатов;

с. Ольга Анатольевна Вахрамеева — разработка экспериментальной модели прайминга, проведение психофизических и электрофизиологических экспериментов, участие в обработке данных;

д. Ольга Викторовна Жукова — обработка ряда результатов, участие в написании статьи;

е. Сергей Вадимович Пронин — создание программного обеспечения для синтеза тестовых изображений и проведения исследований;

ф. Олег Викторович Цветков — планирование и анализ проведения работ;

г. Ксения Андреевна Скуратова — проведение исследования восприятия врачом лиц пациентов и выработки профессионального навыка;

h. Евгений Юрьевич Шелепин — разработка методов и проведение измерений развития профессиональных навыков в деятельности врача, с помощью оптического контроля движений глаз и мимики в ИК диапазоне.

Author Contributions

a. Yuri E. Shelepin developed aims and objectives of the research project, planned the experiments, wrote the article, developed a multichannel model of conscious/unconscious perception and opponent interaction of channels;

b. Alexey K. Kharauzov planned the experiments, conducted tomographic and electrophysiological studies, analysed and described the results;

b. Olga A. Vakhrameeva developed an experimental priming model, conducted psychophysical and electrophysiological experiments, participated in data processing;

d. Olga V. Zhukova processed a set of data, contributed to the article writing;

e. Sergey V. Pronin developed software to perform synthesis of test images and conduct research;

f. Oleg V. Tsvetkov planned and analysed the stages of the research project;

g. Kseniya A. Skuratova carried out a study focusing on the doctor's perception of patients' faces and the development of professional skills in doctors;

h. Evgeny Yu. Shelepin developed the methodology of measurement and evaluated the development of professional skills in doctors using optical control of eye movement and facial expressions in the infrared range.

Литература

- Бернар, К. (1867) *Курс общей физиологии. Свойства живых тканей*. СПб.: Издание О. И. Бакста, 299 с.
- Бондарко, В. М., Данилова, М. В., Красильников, Н. Н. и др. (1999) *Пространственное зрение*. СПб.: Наука, 218 с.
- Вахрамеева, О. А., Хараузов, А. К., Пронин, С. В. и др. (2016) Зрительный прайминг при распознавании мелких изображений в сцене, содержащей объекты разного размера. *Физиология человека*, т. 42, № 5, с. 39–48. <https://doi.org/10.7868/S0131164616050180>
- Гершуни, Г. В. (1940) Электрофизиологический анализ деятельности слуховой системы. *Физиологический журнал*, т. 29, № 5, с. 369–379.
- Глезер, В. Д. (1993) *Зрение и мышление*. СПб.: Наука, 284 с.
- Глезер, В. Д., Цуккерман, И. И. (1961) *Информация и зрение*. М.; Л.: Изд-во Академии наук СССР, 183 с.
- Кожевников, В. А. (1951) *Электроэнцефалографическое изучение образования временных связей на звуковые раздражители у человека. Автореферат диссертации на соискание степени кандидата биологических наук*. Л., Институт высшей нервной деятельности, 12 с.
- Кожевников, В. А., Марусева, А. М. (1949) Электроэнцефалографическое изучение образования временных связей на неощущаемые раздражения у человека. *Известия Академии наук СССР. Серия биологическая*, т. 5, с. 560–569.
- Красильников, Н. Н., Шелепин, Ю. Е., Красильникова, О. И. (1999) Применение принципов оптимального наблюдателя при моделировании зрительной системы человека. *Оптический журнал*, т. 66, № 9, с. 17–24.
- Логунова, Е. В., Пронин, С. В., Шелепин, Ю. Е. (2014) Моделирование работы пространственно-частотных фильтров при восприятии сложных динамических сцен. *Оптический журнал*, т. 81, № 11, с. 62–68.
- Мурыгин, К. В. (2003) Оптимизация габоровских вейвлет-преобразований для задачи распознавания человека по изображению лица. *Искусственный интеллект*, № 4, с. 223–229.
- Подвигин, Н. Ф., Макаров, Ф. Н., Шелепин, Ю. Е. (1986) *Элементы структурно-функциональной организации зрительно-глазодвигательной системы*. Л.: Наука, 252 с.
- Скуратова, К. А., Шелепин, Е. Ю., Яровая, Н. П. (2021) Оптический поиск и зрительный навык. *Оптический журнал*, т. 88, № 12, с. 28–35. <https://www.doi.org/10.17586/1023-5086-2021-88-12-28-35>
- Хараузов, А. К., Васильев, П. П., Соколов, А. В. и др. (2015) Восприятие изображений в задачах зрительного поиска в условиях динамической помехи. *Оптический журнал*, т. 82, № 5, с. 42–55.
- Хараузов, А. К., Шелепин, Ю. Е., Цветков, О. В. и др. (2020) Методы маскировки угрожающих изображений и электрофизиологические маркеры их неосознанного восприятия. *Оптический журнал*, т. 87, № 10, с. 69–80. <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2020-87-10-69-80>
- Цветков, Е. А., Краснощекова, Е. И. (2020) *Амигдаллярный комплекс. Физиология эмоций и памяти*. СПб.: Изд-во СПбГУ, 200 с.
- Чистович, Л. А. (1950) *Условные кожно-гальванические реакции на неощущаемые звуковые раздражения. Автореферат диссертации на соискание степени кандидата биологических наук*. Л., Физиологический институт им. И. П. Павлова, 8 с.
- Шелепин, Ю. Е. (2017) *Ведение в нейроиконику*. СПб.: Троицкий мост, 352 с
- Шелепин, Ю. Е., Колесникова, Л. Н., Левкович, Ю. И. (1985) *Визоконтрастометрия: Измерение пространственных передаточных функций зрительной системы*. Л.: Наука, 104 с.
- Шелепин, Ю. Е., Рудой, И. С., Давыдов, А. Т. и др. (1997) Метод наркопсихотерапии больных алкоголизмом. В кн.: *Новые подходы к диагностике и лечению алкоголизма*. СПб.: Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, с. 51–53.
- Шелепин, Ю. Е., Хараузов, А. К., Жукова, О. В. и др. (2020) Маскировка и обнаружение скрытых сигналов в динамических изображениях. *Оптический журнал*, т. 87, № 10, с. 89–102. <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2020-87-10-89-102>
- Ajina, S., Bridge, H. (2017) Blindsight and unconscious vision: What they teach us about the human visual system. *The Neuroscientist*, vol. 23, no. 5, pp. 529–541. <https://doi.org/10.1177/1073858416673817>
- Ajina, S., Pollard, M., Bridge, H. (2020) The superior colliculus and amygdala support evaluation of face trait in blindsight. *Frontiers in Neurology*, vol. 11, article 769. <https://doi.org/10.3389/Fneur.2020.00769>
- Anastasio, T. J. (2015) Computer modeling in neuroscience: From imperative to declarative programming. In: N. Martí-Oliet, P. C. Ölveczky, C. Talcott (eds.). *Logic, rewriting, and concurrency. Essays dedicated to Jose Meseguer on the occasion of his 65th birthday*. Berlin: Springer Publ, pp. 97–113. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23165-5_4
- Bechara, A., Damasio, H., Damasio, A. R., Lee, G. P. (1999) Different contributions of the human amygdala and ventromedial prefrontal cortex to decision-making. *Journal of Neuroscience*, vol. 19, no. 13, pp. 5473–5481. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.19-13-05473.1999>
- Dakin, S. C., Watt, R. J. (2009) Biological “bar codes” in human faces. *Journal of Vision*, vol. 9 (4), no. 2, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1167/9.4.2>

- Das, J. M., Siddiqui W. (2020) Klüver Bucy Syndrome. In: *StatPearls*. [S. l.]: StatPearls Publ. [Online]. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK544221> (accessed 18.11.2021).
- Duke-Elder, S. (1962) *System of ophthalmology. Vol. VII. The foundation of ophthalmology. The investigation of indirect vision: The visual fields*. St. Louis: Mosby Publ., pp. 393–425.
- Elshawi, R., Sakr, S., Talia, D., Trunfio, P. (2018) Big data systems meet machine learning challenges: Towards big data science as a service. *Big Data Research*, vol. 14, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2018.04.004>
- Fahland, D., Lubke, D., Mendling, J. et al. (2009) Declarative versus imperative process modeling languages: The issue of understandability. In: T. Halpin, J. Krogstie, S. Nurcan et al. (eds.). *Enterprise, Business-process and information systems modeling. BPMDS 2009, EMMSAD 2009. Lecture notes in business information processing. Vol. 29*. Berlin; Heidelberg: Springer Publ., pp. 353–366. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01862-6_29
- Farah, M. (1990) *Visual Agnosia: Disorders of object recognition and what they tell us about normal vision*. Cambridge: MIT Press, 184 p.
- Fredrikson, M. (1983) Reliability and validity of some specific fear questionnaires. *Scandinavian Journal of Psychology*, vol. 24, no. 4, pp. 331–334. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.1983.tb00507.x>
- Funahashi, S. (2017) Prefrontal contribution to decision-making under free-choice conditions. *Frontiers in Neuroscience*, vol. 11, article 431. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00431>
- Goodale, M., Milner, D. (2004) *Sight unseen. An exploration of conscious and unconscious vision*. Oxford: Oxford University Press, 232 p. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199596966.001.0001>
- Halbertsma, H. N., Bridge, H., Carvalho, J. et al. (2021) Visual field reconstruction in hemianopia using fMRI based mapping techniques. *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 15, article 713114. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.713114>
- Hansen, B. C., Johnson, A. P., Elleberg, D. (2012) Different spatial frequency bands selectively signal for natural image statistics in the early visual system. *Journal of Neurophysiology*, vol. 108, no. 8, pp. 2160–2172. <https://doi.org/10.1152/jn.00288.2012>
- Hyvarinen, J., Shelepin, Yu. E. (1979) Distribution of visual and somatic functions in the parietal associative area 7 of the monkey. *Brain Research*, vol. 169, no. 3, pp. 561–564. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(79\)90404-9](https://doi.org/10.1016/0006-8993(79)90404-9)
- Hurme, M., Koivisto, M., Revonsuo, A., Railo, H. (2019) V1 activity during feedforward and early feedback processing is necessary for both conscious and unconscious motion perception. *Neuroimage*, vol. 185, pp. 313–321. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.10.058>
- Kawamura, K., Naito, J. (1984) Corticocortical projections to the prefrontal cortex in the rhesus monkey investigated with horseradish peroxidase techniques. *Neuroscience Research*, vol. 1, no. 2, p. 89–103. [https://doi.org/10.1016/s0168-0102\(84\)80007-3](https://doi.org/10.1016/s0168-0102(84)80007-3)
- Klüver, H., Bucy, P. C. (1937) “Psychic blindness” and other symptoms following bilateral temporal lobectomy in rhesus monkeys. *American Journal of Physiology*, vol. 119, pp. 352–353.
- Kordjamshidi, P., Roth, D., Kersting, K. (2019) *Declarative learning-based programming as an interface to AI systems*. [Online]. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1906.07809.pdf> (accessed 18.11.2021).
- Kropotov, J. D., Etlinger, S. C. (1999) Selection of actions in the basal ganglia- thalamocortical circuits: Review and model. *International Journal of Psychophysiology*, vol. 31, no. 3, pp. 197–217. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(98\)00051-8](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(98)00051-8)
- Kulikowski, J. J. (2003) Neural basis of fundamental filters in vision. In: G. T. Buracas, O. Ruksenas, G. M. Boynton, T. D. Albright (eds.). *Modulation of neuronal responses: Implications for active vision*. Amsterdam: IOS Publ., pp. 3–68.
- Lilly, R., Cummings, J. L., Benson, D. F., Frankel, M. (1983) The human Klüver-Bucy syndrome. *Neurology*, vol. 33, no. 9, pp. 1141–1145. <https://doi.org/10.1212/wnl.33.9.1141>
- Logunova, E. V., Shelepin, Yu. E. (2015) Study of the role of spatial-frequency filtering of images when evaluating the age and interpreting the emotional expression of faces. *Journal of Optical Technology*, vol. 82, no. 10, pp. 694–699. <https://doi.org/10.1364/JOT.82.000694>
- Malashin, R. O. (2021) Sparsely ensembled convolutional neural network classifiers via reinforcement learning. In: *ICMLT 2021: 2021 6th International Conference on Machine Learning Technologies (April 23–25, 2021)*. New York: Association of Computing Machinery Publ., pp. 102–110. <https://doi.org/10.1145/3468891.3468906>
- Markov, N. T., Ercsey-Ravasz, M., van Essen, D. C. et al. (2013) Cortical high-density counterstream architectures. *Science*, vol. 342, no. 6158, article 1238406. <https://doi.org/10.1126/science.1238406>
- Merigan, W. H., Byrne, C. E., Maunsell, J. H. R. (1991) Does primate motion perception depend on the magnocellular pathway? *The Journal of Neuroscience*, vol. 11, no. 11, pp. 3422–3429. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.11-11-03422.1991>
- Merigan, W., Pasternak, T. (2003) Lesions in primate visual cortex leading to deficits of visual perception. In: M. Fachle, M. Grenlee (eds.). *The Neuropsychology of Vision*. Oxford: Oxford University Press, pp. 121–162. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198505822.003.0005>
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., Macko, K. A. (1983) Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, vol. 6, pp. 414–417. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(83\)90190-X](https://doi.org/10.1016/0166-2236(83)90190-X)

- Nam, Y., Sato, T., Uchida, G. et al. (2021) View tuned and view invariant face encoding in IT cortex is explained by selected natural image fragments. *Scientific Reports; Nature Portfolio*, vol. 11, article 7827. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86842-7>
- Panakhova, E. N. (2002) Appearance of Kluver-Bucy Syndrome and Alzheimer Disease—disturbance of intrastructural (amygdala-vision) and interamygdala interrelation? In: *The 3rd Forum of European Neuroscience (FENS Forum)*. Paris: [s. n.], p. 221.
- Ponomarev, V. A., Kropotov, Yu. D. (2021) Bayesian parallel factor analysis for studies of event-related potentials. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, vol. 51, pp. 882–892. <https://doi.org/10.1007/s11055-021-01147-6>
- Regan, D., Silver, R., Murray, T. J. (1977) Visual acuity and contrast sensitivity in multiple sclerosis—hidden visual loss: An auxiliary diagnostic test. *Brain*, vol. 100, no. 3, pp. 563–579. <https://doi.org/10.1093/brain/100.3.563>
- Reimer, C. B., Strobach, T., Schubert, T. (2016) Concurrent deployment of visual attention and response selection bottleneck in a dual-task: Electrophysiological and behavioural evidence. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. 70, no. 12, pp. 2460–2477. <https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1245348>
- Rolls, E. T. (2014) *Emotion and decision-making explained*. Oxford: Oxford Scholarship Online Publ., 704 p. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199659890.001.0001>
- Sani, I., Stemann, H., Caron, B. et al. (2021). The human endogenous attentional control network includes a ventro-temporal cortical node. *Nature Communications*, vol. 12, no. 1, article 360. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20583-5>
- Schober, H. (1956) Informations theorie in Optik und Fernsehen. *Optik*, vol. 13, pp. 350–364.
- Sergeev, S. F., Khomyakov, A. V. (2021) Operator's perception of groups of dynamic objects. *Journal of Optical Technology*, vol. 88, no. 6, pp. 337–342. <https://doi.org/10.1364/JOT.88.000337>
- Shelepin, K. Yu., Pronin, S. V., Shelepin, Yu. E. (2015) Recognizing fragmented images and the appearance of “Insight”. *Journal of Optical Technology*, vol. 82, no. 10, pp. 700–706. <https://doi.org/10.1364/JOT.82.000700>
- Sheth, B. R., Young, R. (2016) Two visual pathways in primates based on sampling of space: Exploitation and exploration of visual information. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, vol. 10, article 37. <https://doi.org/10.3389/fnint.2016.00037>
- Struss, D. T., Knight, R. T. (eds.). (2002) *Principles of frontal lobe function*. Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195134971.001.0001>
- Tamietto, M., de Gelder, B. (2010) Neural bases of the non-conscious perception of emotional signals. *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 11, no. 10, pp. 697–709. <https://doi.org/10.1038/nrn2889>
- Tsotsos, J. K., Abid, O., Kotseruba, I., Solbach, M. D. (2021) On the control of attentional processes in vision. *Cortex*, vol. 137, no. 5, pp. 305–329. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2021.01.001>
- Verghese, P., Pelli, D. G. (1992) The information capacity of visual attention. *Vision Research*, vol. 32, no. 5, pp. 983–995. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(92\)90040-p](https://doi.org/10.1016/0042-6989(92)90040-p)
- Viola, P., Jones, M. J. (2004) Robust real-time face detection. *International Journal of Computer Vision*, vol. 57, pp. 137–154. <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb>
- Vuilleumier, P., Driver, J. (2007) Modulation of visual processing by attention and emotion: Windows on causal interactions between human brain regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, vol. 362, no. 1481, pp. 837–855.
- Wallace, J., Valdivia, A. A. (2020) A hybrid artificial intelligence, machine learning, and control algorithm integration framework for embedded systems using semantic web technology. In: *2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*. Las Vegas: IEEE Publ., pp. 492–497. <https://doi.org/10.1109/CSCI51800.2020.00089>
- Wang, Y., Lv, K., Huang, R. et al. (2020) Glance and focus: A dynamic approach to reducing spatial redundancy in image classification. In: *34th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020)*. [Online]. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2010.05300.pdf> (accessed 01.10.2021).
- Weiskrantz, L. (2003) Unconscious perception: Blindsight. In: M. Fachle, M. Grenlee (eds.). *The Neuropsychology of Vision*. Oxford: Oxford University Press, pp. 283–306. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198505822.003.0009>
- Xu, X., Chen, O., Ruixin, Xu. (2019) The study of spatial frequency channels for human visual system. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 33, no. 6, article 1955007. <https://doi.org/10.1142/S0218001419550073>
- Zhukova, O. V., Malakhova, E. Yu., Shelepin, Yu. E. (2019) La Gioconda and the indeterminacy of smile recognition by a person and by an artificial neural network. *Journal of Optical Technology*, vol. 86, no. 11, pp. 706–715. <https://doi.org/10.1364/JOT.86.000706>

References

- Ajina, S., Bridge, H. (2017) Blindsight and unconscious vision: What they teach us about the human visual system. *The Neuroscientist*, vol. 23, no. 5, pp. 529–541. <https://doi.org/10.1177/1073858416673817> (In English)
- Ajina, S., Pollard, M., Bridge, H. (2020) The superior colliculus and amygdala support evaluation of face trait in blindsight. *Frontiers in Neurology*, vol. 11, article 769. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00769> (In English)

- Anastasio, T. J. (2015) Computer modeling in neuroscience: From imperative to declarative programming. In: N. Martí-Oliet, P. C. Ölveczky, C. Talcott (eds.). *Logic, rewriting, and concurrency. Essays dedicated to Jose Meseguer on the occasion of his 65th birthday*. Berlin: Springer Publ, pp. 97–113. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23165-5_4 (In English)
- Bechara, A., Damasio, H., Damasio, A. R., Lee, G. P. (1999) Different contributions of the human amygdala and ventromedial prefrontal cortex to decision-making. *Journal of Neuroscience*, vol. 19, no. 13, pp. 5473–5481. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.19-13-05473.1999> (In English)
- Bernard, C. (1867) *Svoystva zhivyykh tkanej. Kurs obshchej fiziologii [Properties of living tissues. General physiology course]*. Saint Petersburg: O. I. Bakst Publ., 299 p. (In Russian)
- Bondarko, V. M., Danilova, M. V., Krasilnikov, N. N. et al. (1999) *Prostranstvennoe zrenie [Spatial vision]*. Saint Petersburg: Nauka Publ., 218 p. (In Russian)
- Chistovich, L. A. (1950) *Uslovnye kozhno-gal'vanicheskie reaktsii na neoshchushchaemye zvukovy razdrasheniya [Conditioned galvanic skin reactions to imperceptible sound stimuli]. Extended abstract of PhD dissertation (Biology)*. Leningrad, Pavlov Institute of Physiology, 8 p. (In Russian)
- Dakin, S. C., Watt, R. J. (2009) Biological “bar codes” in human faces. *Journal of Vision*, vol. 9 (4), no. 2, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1167/9.4.2> (In English)
- Das, J. M., Siddiqui W. (2020) Kluver Bucy Syndrome. In: *StatPearls*. [S. l.]: StatPearls Publ. [Online]. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK544221> (accessed 18.11.2021). (In English)
- Duke-Elder, S. (1962) *System of ophthalmology. Vol. VII. The foundation of ophthalmology. The investigation of indirect vision: The visual fields*. St. Louis: Mosby Publ., pp. 393–425. (In English)
- Elshawi, R., Sakr, S., Talia, D., Trunfio, P. (2018) Big data systems meet machine learning challenges: Towards big data science as a service. *Big Data Research*, vol. 14, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2018.04.004> (In English)
- Fahland, D., Lubke, D., Mendling, J. et al. (2009) Declarative versus imperative process modeling languages: The issue of understandability. In: T. Halpin, J. Krogstie, S. Nurcan et al. (eds.). *Enterprise, Business-process and information systems modeling. BPMDS 2009, EMMSAD 2009. Lecture notes in business information processing. Vol. 29*. Berlin; Heidelberg: Springer Publ., pp. 353–366. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01862-6_29 (In English)
- Farah, M. (1990) *Visual Agnosia.: Disorders of object recognition and what they tell us about normal vision*. Cambridge: MIT Press, 184 p. (In English)
- Fredrikson, M. (1983) Reliability and validity of some specific fear questionnaires. *Scandinavian Journal of Psychology*, vol. 24, no. 4, pp. 331–334. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.1983.tb00507.x> (In English)
- Funahashi, S. (2017) Prefrontal contribution to decision-making under free-choice conditions. *Frontiers in Neuroscience*, vol. 11, article 431. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00431> (In English)
- Gershuni, G. V. (1940) Elektrofiziologicheskij analiz deyatel'nosti slukhovej sistemy [Electrophysiological analysis of the activity of the auditory system]. *Fiziologicheskij zhurnal*, vol. 29, no. 5, p. 369–379. (In Russian)
- Glezer, V. D. (1993) *Zrenie i myshlenie [Sight and thinking]*. Leningrad: Nauka Publ., 284 p. (In Russian)
- Glezer, V. D., Zuckerman, I. I. (1961) *Informatsiya i zrenie [Information and vision]*. Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences Publ., 183 p. (In Russian)
- Goodale, M., Milner, D. (2004) *Sight unseen. An exploration of conscious and unconscious vision*. Oxford: Oxford University Press, 232 p. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199596966.001.0001> (In English)
- Halbertsma, H. N., Bridge, H., Carvalho, J. et al. (2021) Visual field reconstruction in hemianopia using fMRI based mapping techniques. *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 15, article 713114. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.713114> (In English)
- Hansen, B. C., Johnson, A. P., Elleberg, D. (2012) Different spatial frequency bands selectively signal for natural image statistics in the early visual system. *Journal of Neurophysiology*, vol. 108, no. 8, pp. 2160–2172. <https://doi.org/10.1152/jn.00288.2012> (In English)
- Hyvarinen, J., Shelepin, Yu. E. (1979) Distribution of visual and somatic functions in the parietal associative area 7 of the monkey. *Brain Research*, vol. 169, no. 3, pp. 561–564. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(79\)90404-9](https://doi.org/10.1016/0006-8993(79)90404-9) (In English)
- Hurme, M., Koivisto, M., Revonsuo, A., Railo, H. (2019) V1 activity during feedforward and early feedback processing is necessary for both conscious and unconscious motion perception. *Neuroimage*, vol. 185, pp. 313–321. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.10.058> (In English)
- Kawamura, K., Naito, J. (1984) Corticocortical projections to the prefrontal cortex in the rhesus monkey investigated with horseradish peroxidase techniques. *Neuroscience Research*, vol. 1, no. 2, p. 89–103. [https://doi.org/10.1016/s0168-0102\(84\)80007-3](https://doi.org/10.1016/s0168-0102(84)80007-3) (In English)
- Kharauzov, A. K., Shelepin, Yu. E., Tsvetkov, O. V. et al. (2020) Metody maskirovki ugrozhayushchikh izobrazhenij i elektrofiziologicheskie markery ikh neosoznannogo vospriyatiya [Methods of masking threatening images and electrophysiological markers of their unconscious perception]. *Opticheskij zhurnal — Journal of Optical Technology*, vol. 87, no. 10, pp. 69–80. <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2020-87-10-69-80> (In Russian)

- Kharauzov, A. K., Vasiliev, P. P., Sokolov, A. V. et al. (2015) Vospriyatie izobrazhenij v zadachakh zritel'nogo poiska v usloviyakh dinamicheskoy pomekhi [Perception of images in visual search problems under dynamic interference]. *Opticheskij zhurnal — Journal of Optical Technology*, vol. 82, no. 5, pp. 42–55. (In Russian)
- Klüver, H., Bucy, P. C. (1937) “Psychic blindness” and other symptoms following bilateral temporal lobectomy in rhesus monkeys. *American Journal of Physiology*, vol. 119, pp. 352–353. (In English)
- Kordjamshidi, P., Roth, D., Kersting, K. (2019) *Declarative learning-based programming as an interface to AI systems*. [Online]. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1906.07809.pdf> (accessed 18.11.2021). (In English)
- Kozhevnikov, V. A. (1951) *Elektroentsefalograficheskoe izuchenie obrazovaniya vremennykh svyazey na zvukovye razdrashiteli u cheloveka [Electroencephalographic study of the formation of temporary connections to sound stimuli in humans]. Extended abstract of PhD dissertation (Biology)*. Leningrad, Institute of higher nervous activity, 12 p. (In Russian)
- Kozhevnikov, V. A., Maruseva, A. M. (1949) Elektroentsefalograficheskoe izuchenie obrazovaniya vremennykh svyazey na neoshchushchaemye razdrasheniya u cheloveka [Electroencephalographic study of the formation of temporary connections to imperceptible stimuli in humans]. *Izvestia Akademii Nauk SSSR. Seriya biologicheskaya*, vol. 5, pp. 560–569. (In Russian)
- Krasil'nikov, N. N., Shelepin, Yu. E., Krasil'nikova, O. I. (1999) Primenenie printsipov optimal'nogo nablyudatelya pri modelirovanii zritel'noj sistemy cheloveka [Application of the principles of the optimal observer in modeling the human visual system]. *Opticheskij zhurnal — Journal of Optical Technology*, vol. 66, no. 9, pp. 17–24. (In Russian)
- Kropotov, J. D., Etlinger, S. C. (1999) Selection of actions in the basal ganglia- thalamocortical circuits: Review and model. *International Journal of Psychophysiology*, vol. 31, no. 3, pp. 197–217. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(98\)00051-8](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(98)00051-8) (In English)
- Kulikowski, J. J. (2003) Neural basis of fundamental filters in vision. In: G. T. Buracas, O. Ruksenas, G. M. Boynton, T. D. Albright (eds.). *Modulation of neuronal responses: Implications for active vision*. Amsterdam: IOS Publ., pp. 3–68. (In English)
- Lilly, R., Cummings, J. L., Benson, D. F., Frankel, M. (1983) The human Klüver-Bucy syndrome. *Neurology*, vol. 33, no. 9, pp. 1141–1145. <https://doi.org/10.1212/wnl.33.9.1141> (In English)
- Logunova, E. V., Pronin, S. V., Shelepin, Yu. E. (2014) Modelirovanie raboty prostranstvenno-chastotnykh fil'trov pri vospriyatii slozhnykh dinamicheskikh stsen [Modelling the operation of spatial-frequency filters during the perception of complex dynamic scenes]. *Opticheskij zhurnal — Journal of Optical Technology*, vol. 81, no. 11, pp. 62–68. (In Russian)
- Logunova, E. V., Shelepin, Yu. E. (2015) Study of the role of spatial-frequency filtering of images when evaluating the age and interpreting the emotional expression of faces. *Journal of Optical Technology*, vol. 82, no. 10, pp. 694–699. <https://doi.org/10.1364/JOT.82.000694> (In English)
- Malashin, R. O. (2021) Sparsely ensembled convolutional neural network classifiers via reinforcement learning. In: *ICMLT 2021: 2021 6th International Conference on Machine Learning Technologies (April 23–25, 2021)*. New York: Association of Computing Machinery Publ., pp. 102–110. <https://doi.org/10.1145/3468891.3468906> (In English)
- Markov, N. T., Ercsey-Ravasz, M., van Essen, D. C. et al. (2013) Cortical high-density counterstream architectures. *Science*, vol. 342, no. 6158, article 1238406. <https://doi.org/10.1126/science.1238406> (In English)
- Merigan, W. H., Byrne, C. E., Maunsell, J. H. R. (1991) Does primate motion perception depend on the magnocellular pathway? *The Journal of Neuroscience*, vol. 11, no. 11, pp. 3422–3429. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.11-11-03422.1991> (In English)
- Merigan, W., Pasternak, T. (2003) Lesions in primate visual cortex leading to deficits of visual perception. In: M. Fachle, M. Grenlee (eds.). *The Neuropsychology of Vision*. Oxford: Oxford University Press, pp. 121–162. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198505822.003.0005> (In English)
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., Macko, K. A. (1983) Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, vol. 6, pp. 414–417. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(83\)90190-X](https://doi.org/10.1016/0166-2236(83)90190-X) (In English)
- Murygin, K. V. (2003) Optimizatsiya gaborovskikh vejvlet-preobrazovaniy dlya zadachi raspoznavaniya cheloveka po izobrazheniyu litsa [Optimization of Gabor wavelet transforms for the problem of human recognition from a face image]. *Iskusstvennyj intellekt*, no. 4, pp. 223–229. (In Russian)
- Nam, Y., Sato, T., Uchida, G. et al. (2021) View tuned and view invariant face encoding in IT cortex is explained by selected natural image fragments. *Scientific Reports; Nature Portfolio*, vol. 11, article 7827. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86842-7> (In English)
- Panakhova, E. N. (2002) Appearance of Klüver-Bucy Syndrome and Alzheimer Disease—disturbance of intrastructural (amygdala-vision) and interamygdala interrelation? In: *The 3rd Forum of European Neuroscience (FENS Forum)*. Paris: [s. n.], p. 221. (In English)
- Podvigin, N. E., Makarov, F. N., Shelepin, Yu. E. (1986) *Elementy strukturno-funktsional'noj organizatsii zrite'no-glazodvigatel'noj sistemy [Elements of the structural and functional organization of the visual-oculomotor system]*. Leningrad: Nauka Publ., 252 p. (In Russian)

- Ponomarev, V. A., Kropotov, Yu. D. (2021) Bayesian parallel factor analysis for studies of event-related potentials. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, vol. 51, pp. 882–892. <https://doi.org/10.1007/s11055-021-01147-6> (In English)
- Regan, D., Silver, R., Murray, T. J. (1977) Visual acuity and contrast sensitivity in multiple sclerosis-hidden visual loss: An auxiliary diagnostic test. *Brain*, vol. 100, no. 3, pp. 563–579. <https://doi.org/10.1093/brain/100.3.563> (In English)
- Reimer, C. B., Strobach, T., Schubert, T. (2016) Concurrent deployment of visual attention and response selection bottleneck in a dual-task: Electrophysiological and behavioural evidence. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. 70, no. 12, pp. 2460–2477. <https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1245348> (In English)
- Rolls, E. T. (2014) *Emotion and decision-making explained*. Oxford: Oxford Scholarship Online Publ., 704 p. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199659890.001.0001> (In English)
- Sani, I., Stemmann, H., Caron, B. et al. (2021). The human endogenous attentional control network includes a ventro-temporal cortical node. *Nature Communications*, vol. 12, no. 1, article 360. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20583-5> (In English)
- Schober, H. (1956) Informations theorie in Optik und Fernsehen [Information theory in optics and television]. *Optik*, vol. 13, pp. 350–364. (In German)
- Sergeev, S. E., Khomyakov, A. V. (2021) Operator's perception of groups of dynamic objects. *Journal of Optical Technology*, vol. 88, no. 6, pp. 337–342. <https://doi.org/10.1364/JOT.88.000337> (In English)
- Shelepin, Yu. E. (2017) *Vvedenie v nejroikoniku [Introduction to neuroiconics]*. Saint Petersburg.: Troitskij Most Publ., 352 p. (In Russian)
- Shelepin, Yu. E., Kharauzov, A. K., Zhukova, O. V. et al. (2020) Maskirovka i obnaruzhenie skrytykh signalov v dinamicheskikh izobrazheniyakh [Masking and detection of hidden signals in dynamic images]. *Opticheskij zhurnal — Journal of Optical Technology*, vol. 87, no. 10, pp. 89–102. <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2020-87-10-89-102> (In Russian)
- Shelepin, Yu. E., Kolesnikova, L. N., Levkovich, Yu. I. (1985) *Vizokontrastometriya: Izmerenie prostranstvennykh peredatochnykh funktsij zritel'noj sistemy [Visocontrastometry: Measuring the spatial transfer functions of the visual system]*. Leningrad: Nauka Publ., 104 p. (In Russian)
- Shelepin, K. Yu., Pronin, S. V., Shelepin, Yu. E. (2015) Recognizing fragmented images and the appearance of “Insight”. *Journal of Optical Technology*, vol. 82, no. 10, pp. 700–706. <https://doi.org/10.1364/JOT.82.000700> (In English)
- Shelepin, Yu. E., Rudoj, I. S., Davydov, A. T. et al. (1997) Metod narkopsikhoterapii bol'nykh alkogolizmom [The method of drug psychotherapy for patients with alcoholism]. In: *Novye podkhody k diagnostike i lecheniyu alkogolizma [New approaches to the diagnosis and treatment of alcoholism]*. Saint Petersburg: The S. M. Kirov Military Medical Academy Publ., pp. 51–53. (In Russian)
- Sheth, B. R., Young, R. (2016) Two visual pathways in primates based on sampling of space: Exploitation and exploration of visual information. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, vol. 10, article 37. <https://doi.org/10.3389/fnint.2016.00037> (In English)
- Skuratova, K. A., Shelepin, E. Yu., Yarovaya, N. P. (2021) Opticheskij poisk i zritel'nyj navyk [Optical search and visual skill]. *Opticheskij zhurnal — Journal of Optical Technology*, vol. 88, no. 12, pp. 28–35. <https://www.doi.org/10.17586/1023-5086-2021-88-12-28-35> (In Russian)
- Struss, D. T., Knight, R. T. (eds.). (2002) *Principles of frontal lobe function*. Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195134971.001.0001> (In English)
- Tamietto, M., de Gelder, B. (2010) Neural bases of the non-conscious perception of emotional signals. *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 11, no. 10, pp. 697–709. <https://doi.org/10.1038/nrn2889> (In English)
- Tsotsos, J. K., Abid, O., Kotseruba, I., Solbach, M. D. (2021) On the control of attentional processes in vision. *Cortex*, vol. 137, no. 5, pp. 305–329. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2021.01.001> (In English)
- Tsvetkov, E. A., Krasnoshchekova, E. I. (2020) *Amigdalyarnyj kompleks. Fiziologiya emotsij i pamyati [Amygdala complex. Physiology of emotions and memory]*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University Publ., 200 p. (In Russian)
- Vakhrameeva, O. A., Kharauzov, A. K., Pronin, S. V. et al. (2016) Zritel'nyj prajming pri raspoznavanii melkikh izobrazhenij v stsene, sodержashchej ob'ekty raznogo razmera [Visual priming and reception of small pictures in a with multiscale objects]. *Fiziologiya cheloveka — Human Physiology*, vol. 42, no. 5, pp. 39–48. <https://doi.org/10.7868/S0131164616050180> (In Russian)
- Verghese, P., Pelli, D. G. (1992) The information capacity of visual attention. *Vision Research*, vol. 32, no. 5, pp. 983–995. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(92\)90040-p](https://doi.org/10.1016/0042-6989(92)90040-p) (In English)
- Viola, P., Jones, M. J. (2004) Robust real-time face detection. *International Journal of Computer Vision*, vol. 57, pp. 137–154. <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb> (In English)
- Vuilleumier, P., Driver, J. (2007) Modulation of visual processing by attention and emotion: Windows on causal interactions between human brain regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, vol. 362, no. 1481, pp. 837–855. (In English)

- Wallace, J., Valdivia, A. A. (2020) A hybrid artificial intelligence, machine learning, and control algorithm integration framework for embedded systems using semantic web technology. In: *2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*. Las Vegas: IEEE Publ., pp. 492–497. <https://doi.org/10.1109/CSCI51800.2020.00089> (In English)
- Wang, Y., Lv, K., Huang, R. et al. (2020) Glance and focus: A dynamic approach to reducing spatial redundancy in image classification. In: *34th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020)*. [Online]. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2010.05300.pdf> (accessed 01.10.2021). (In English)
- Weiskrantz, L. (2003) Unconscious perception: Blindsight. In: M. Fachle, M. Grenlee (eds.). *The Neuropsychology of Vision*. Oxford: Oxford University Press, pp. 283–306. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198505822.003.0009> (In English)
- Xu, X., Chen, O., Ruixin, Xu. (2019) The study of spatial frequency channels for human visual system. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 33, no. 6, article 1955007. <https://doi.org/10.1142/S0218001419550073> (In English)
- Zhukova, O. V., Malakhova, E. Yu., Shelepin, Yu. E. (2019) La Gioconda and the indeterminacy of smile recognition by a person and by an artificial neural network. *Journal of Optical Technology*, vol. 86, no. 11, pp. 706–715. <https://doi.org/10.1364/JOT.86.000706> (In English)