

УДК 159.931, 612.8

Морозов С.А., Жукова О.В., Вахрамеева О.А.<sup>1</sup>, Малахова Е.Ю., Шелепин Ю.Е.  
Институт Физиологии им. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

## Архитектура нейронных сетей головного мозга, участвующих в обеспечении невербального диалога<sup>2</sup>

### The Architecture of Brain Neural Networks in Providing Nonverbal Dialogue

#### Аннотация

Невербальное общение представляет собой важнейший компонент коммуникации, позволяющий понимать намерения собеседника и принимать важные решения. Исследования роли невербального общения наглядны при взаимодействии представителей разных культур, когда сведен к минимуму или даже «блокирован» вербальный канал связи. В этих условиях невербальный канал приобретает особое значение. Цель данной работы – провести анализ архитектуры и алгоритмов работы крупномасштабных нейронных сетей, обеспечивающих распознавание и эмоциональную оценку мимики собеседника в процессе диалога. Этот анализ важен для развития психофизиологических исследований диалога. Проблема невербальной коммуникации между представителями народов, имеющих различную структуру языка и письменной речи, представляет значительный интерес. В работе рассмотрены мозговые структуры и нейронные сети, вовлеченные в распознавание лица и эмоциональной окраски мимики.

**Ключевые слова:** лицо, мимика, распознавание мимики, невербальное общение, нейронные сети

#### Abstract

Non-verbal communication is an essential component of communication that allows you to understand the interlocutor's intentions and make important decisions. Studies of the role of non-verbal communication are evident in the interaction of representatives of different cultures, when the verbal communication channel is minimized or even "blocked". In these conditions, the non-verbal channel takes on special significance. The purpose of this work is to analyze the architecture and algorithms for the operation of large-scale neural networks that provide recognition and emotional assessment of the interlocutor's facial expressions in the process of dialogue. This analysis is important for the development of psychophysiological studies of dialogue. The problem of non-verbal communication between representatives of peoples with different structures of language and writing is of considerable interest. The work examines the brain structures and neural networks involved in face recognition and emotional coloring of facial expressions.

**Keywords:** face, facial expressions, facial expression recognition, non-verbal communication, neural networks

<sup>1</sup> В анализе приведены данные исследований О.А. Вахрамеевой, проведенных в период с 2005 года до момента ее скоропостижной кончины в 2019 году.

<sup>2</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства по науке и технологиям Тайваня в рамках научного проекта № 21-515-52004.

## Введение

Между собеседниками вербальное и невербальное взаимодействие происходит на неосознаваемом и лишь затем на осознаваемом уровне. Зачастую людям приходится взаимодействовать, не зная общего языка, который мог бы послужить посредником. В подобных ситуациях особую значимость приобретает невербальный компонент общения, под которым в широком смысле принято понимать любые несловесные сигналы, сообщения друг другу, представленные в поведении и внешности, включая паттерны движений головы и тела, дистанцию между собеседниками и другие не лингвистические средства межличностного взаимодействия (Hall, Horgan, Murphy, 2018). Можно предположить, что невербальные средства общения, являясь более консервативными по сравнению с вербальными, помогают угадывать намерения собеседника, его настроение и способствуют принятию оптимальных решений в ходе коммуникации. В эту традиционную область психологии и социологии в последние годы вторглась и стерла все междисциплинарные границы нейрофизиология, а также связанные с ней нейроморфология, нейроконика и нейролингвистика.

Невербальный диалог является важнейшим инструментом общения. Именно он позволяет интуитивно различать врагов и друзей, своих и чужих, помогает принимать правильные решения. Мы проводим исследования эффективности невербальной коммуникации у представителей народов с различной вербальной и письменной речью, при запрете использования второго и общего для испытуемых английского языка. Данная проблема напрямую связана с вопросом универсальности невербальных средств коммуникации, наличия устойчивых паттернов лицевых экспрессий среди людей. Обширные обзоры психологических исследований по данной тематике уже опубликованы (Барабанщиков, 2016; Барабанщиков и др. 2018; Russell, Dols, 2017; Ekman, Friesen, 1971; Crivelli, Fridlund, 2019; Valente, Theurel, Gentaz, 2018; Chung, Robins, 2015). Результатом проведенных работ

стало выявление универсальных и изменчивых мимических паттернов, установление роли различных факторов, влияющих на адаптацию к новой среде с отличным стилем лицевых экспрессий, а также развитие мощной теоретической базы в данной области. Однако для последующих исследований и поиска объективных психофизиологических маркеров значимых этапов невербального диалога необходимо провести дальнейший анализ ключевых механизмов, делающих возможным распознавание элементов мимики и, тем самым, определяющих эффективность оценки психологической совместимости собеседников в процессе невербального общения.

Поэтому целью данной статьи стал анализ выбранных авторами литературных источников и собственных исследований архитектуры и алгоритмов работы крупномасштабных нейронных сетей, обеспечивающих именно распознавание и оценку эмоционального значения мимики собеседника и, вероятно, необходимых для реализации диалога между представителями разных народов, с разной структурой языка и письменной речи. Данный анализ необходим для дальнейшего изучения роли невербальной коммуникации в обеспечении межличностного взаимодействия представителей разных культур.

Широта спектра явлений, включаемых в понятие невербальной коммуникации, не позволяет в достаточной мере рассмотреть их все, поэтому наш анализ посвящен восприятию именно мимики. Но, даже, ограничив свою работу исследованиями механизмов передачи и восприятия в мимике эмоций собеседников, за рамками представленного в данной статье аналитического материала остался большой пласт исследований, посвященных движениям глаз, играющим крайне важную роль в процессе восприятия собеседников; нами не рассмотрены данные о межполушарной асимметрии и особенностях топографии комиссуральных связей, вовлеченных в распознавание отличий

структуры лица и мимики, а также электроэнцефалографические корреляты невербального общения.

Основное внимание в анализе уделено крупномасштабным нейронным сетям человека, образованным зачастую далеко разнесенными структурами мозга, но функционально связанными на основе статистического анализа BOLD (Blood Oxygen Level Dependent) сигнала фМРТ и имеющими непосредственные аксональные связи по данным тензорной трактографии (Riedl et al., 2016), обеспечивающими невербальное общение, основным алгоритмам их работы, а также их взаимосвязи с «гностическими нейронами», обеспечивающими осознаваемое и неосознаваемое восприятие лица и оценку смысла мимики собеседника. Иными словами, цель проведенной работы – рассмотреть экстрастриарную часть вентральной нейронной сети в ее взаимодействие со структурно-функциональными образованиями мозга, обеспечивающими оценку значимости для наблюдателя и собеседника воспринимаемых изображений объектов и их эмоциональную окраску.

### **Нейрофизиологические механизмы восприятия лица и мимики**

Вентральная нейронная сеть начинается в BA17, BA18 и направляется в BA19, BA37 и далее в A21. В 1972 году Чарльз Гордон Гросс (Charles Gordon Gross, 1936-2019) впервые экспериментально обнаружил некие аналоги ранее теоретически предположенных Юрием Маврикеевичем Конорским гностических нейронов (Konorski, 1967). Гросс обнаружил их в нижневисочной коре обезьян и наглядно продемонстрировал их избирательную реакцию на лица (Gross, 1972, 1973, 1992). Затем в области дна верхней височной борозды мозга обезьян были зарегистрированы отклики группы клеток на изображения лиц. Было показано, что на лица, а также на динамику данные группы клеток отвечали активнее в сравнении с другими типами изображений. Данные ответы изменялись и в случае

наличия помех, которые сильно ухудшали возможность восприятия лиц (Perret et al., 1982, 1985; Rolls, 1986, 1987, 1992). Было показано экспериментально, что активность нейронов в данной области определяется не только наличием в поле зрения изображения лица, но также весьма чувствительна к лицевой мимике. Было высказано предположение, что эти нейроны оценивают направление взгляда, положение уголков губ, глаз, бровей, степень их изгиба и взаимного расположения частей лица, что важно для опознания мимики (Nahby et al., 2000, 2011; Sarkheil et al., 2013). В области нижневисочной коры были также зарегистрированы специфичные реакции на изображения лиц, отличавшиеся по своей топографии от реакций на изображения домов, мебели или букв (Tanaka et al., 1991, 1996, 1997, 1998). Отметим, что к основным зонам мозга, отвечающим за распознавание лиц, была причислена еще, так называемая, «затылочная область лица» (Occipital Face Area – OFA), идентифицируемая, с сомнением самими авторами, как BA18-19 по Бродману (Pitcher et al., 2011). Выделение и локализация «затылочной области лица» была проведена по данным фМРТ, а это означает, что регистрировали ответ не отдельных клеток, а целых нейронных ансамблей. Более того, представленные зоны расположены ближе основанию и, вполне возможно, являются не BA19-BA18, а BA37-BA19. В OFA найдены статистически значимые отличия ответов нейронов при восприятии изображений лиц, в сравнении с другими объектами (Nahby et al., 2000, 2011; Ishai, 2008).

После открытия нейронов, реагирующих исключительно на лица в нижневисочной коре, было показано наличие представительства самых разных объектов и их фрагментов в нижневисочной коре. Вероятность встречаемости и биологическая значимость объекта определяет число нейронов представительства этого объекта в коре (Малахова, 2018-2021).

Методами нейровизуализации ПЭТ (позитронно-эмиссионная томография) и фМРТ (функциональная магнитно-резонансная томография)

удалось подтвердить значимую роль в распознавании и восприятии лиц височной и затылочной коры, а также показать участие менее специфичных отделов мозга: базальных ганглиев, миндалевидного тела и даже соматосенсорной, префронтальной коры (Kesler-West et al., 2001). Набор структур, вовлеченных в процесс распознавания лиц и мимики, логично соотносится с особенностями воспринимаемых стимулов. Процесс распознавания неразрывно связан со сравнением поступающих стимулов с образцами, хранящимися в памяти. Построены работающие модели этого процесса (Малахова, 2018, 2019, 2020, 2021).

Лицо имеет более 80 мимических, жевательных и глазодвигательных мышц, что позволяет создать богатый арсенал лицевых экспрессий. Таким образом, лицо представляет собой инструмент синтеза изображений, сравнимый по сложности построения образов со знаменитым устройством создания музыки – роялем. Мимика, будучи одним из основных средств невербальной коммуникации, играет принципиальную роль в социальном взаимодействии, а значит, является биологически важным стимулом, оценка которого должна осуществляться с участием лимбической системы, в частности, амигдалы и базальных ганглиев. Наконец, окончательная оценка и принятие решение о необходимой поведенческой реакции (в случае осознанного восприятия) производится во фронтальных зонах коры больших полушарий (Шелепин, 2017). В работах Жуковой и соавторов определены структуры мозга, реагирующие на минимальные изменения поворота и мимики (Жукова и др., 2016). Нейронные структуры, участвующие в восприятии лиц, находятся в тесной взаимосвязи со многими другими сетями мозга, обеспечивая целостное восприятие и адекватные реакции организма на стимулы.

Рассмотрим роль основных структур в обработке лиц как зрительных стимулов, а также природу их взаимодействия, что может помочь в понимании общих принципов функционирования данной системы. Заметим,

что система восприятия лиц не однородна, а распадается на ряд подсистем, зачастую работающих параллельно (Kesler-West et al., 2001). Так, предполагается существование отдельных путей осознанного и неосознанного восприятия лица, хотя существуют и альтернативные гипотезы, постулирующие лишь количественное, но не качественное отличие этих двух потоков информации, или иной характер их взаимоотношения (Tamietto, de Gelder, 2010). Кроме того, предполагается разделение путей, специфичных к обработке конкретных эмоций: страха, отвращения, радости (Tettamanti et al., 2012), или же, в более общем виде, аверсивных стимулов и стимулов, связанных с системой внутреннего вознаграждения и affiliативным взаимодействием. Также доказано наличие самостоятельных путей обработки низкочастотных и высокочастотных компонентов изображений. При этом высокочастотная фильтрация позволяет осознанно оценить эмоциональное состояние человека по деталям лица, зато низкочастотное описание дает более выраженное эмоциональное воздействие на наблюдателя, причем, зачастую, это воздействие неосознанное (Шелепин и др., 2014). Наконец, наиболее популярным является выделение специфичной репрезентации константных характеристик лица (идентичности, пола, расы и пр.), анатомически ассоциируемой с вентральной нервной сетью, расположенной в нижневисочной коре и затылочной коре (fusiform face area, FFA, BA37 и OFA), и репрезентации динамических характеристик (мимики), которая традиционно считается приуроченной к дорзальной сети, включая верхнюю височную борозду (Calder, Young, 2005; Grill-Spector et al., 2017). Однако в 2000-е годы многие исследователи подвергли сомнению и эту модель, предложив альтернативные гипотезы (Tsuchiya et al., 2008; Calder, Young, 2005). Подобное разнообразие теоретических подходов, при отсутствии консенсуса в научном сообществе, серьезно затрудняет задачу разработки обобщенной характеристики процесса восприятия лица и выражений эмоций, так как

создает риск смешения характеристик подсистем, которые следовало бы рассматривать отдельно. Однако большинство этих моделей относятся к функционированию специфичных к обработке лиц отделов коры, в то время как роли, выполняемые менее специфичными структурами в реализации этой функции, кажутся более однозначными. Принципы же работы корковых структур будут рассмотрены в значительной степени обобщения во избежание эклектичности при попытке объединить разные модели. К отдельным моделям распознавания лиц мы будем возвращаться по мере необходимости, когда они будут представляться полезными для объяснения конкретных феноменов.

Нижневисочная кора — это область коры головного мозга, расположенная на поверхности нижневисочной извилины. Нижневисочную кору обезьян делят на подобласти разными способами. Наиболее распространенный способ деления — на область ТЕО и ТЕ — основан на цитоархитектонической структуре (Glezer, 1985, 1989; Iwai, 1969). Это деление можно сравнить с делением на переднюю и заднюю часть нижневисочной коры, введенное Танакой с соавторами (von Bonin, 1947, 1950), которое основывалось на анализе размера рецептивных полей и характеристик ответов нейронов. Задняя часть нижневисочной коры соответствует ТЕО, передняя часть нижневисочной коры — ТЕ (Tanaka, 1991).

ТЕ получает информацию от первичной зрительной коры через вентральный зрительный путь (V1-V2-V4-ТЕО-ТЕ). Однако есть также и прямые проекции на область ТЕО от V2 (Kobatake, 1994) и от V4 на нейроны задней части ТЕ, но последовательный путь является преимущественным входом. Проекции от нижневисочной коры идут на многие «не зрительные» области мозга, такие как периринальная кора (ВА 35, ВА36), префронтальная кора, амигдала, стриатум базальных ганглиев. Проекции на эти области в основном идут от передней части ТЕ (Tanaka, 1996; Nakamura, 1993; Iwai, 1987; Ungerleider, 1989; Saleem, 1993). Таким образом, область ТЕ по

последовательному вентральному пути получает информацию от первичной зрительной коры (V1) и от нее же берет начало выходящий путь из нижневисочной коры. Обезьяны, у которых повреждены области TE в обоих полушариях, демонстрируют множественные селективные нарушения в обучении выполнению задач, требующих распознавания объектов (Cheng, 1993; Suzuki, 1994; Gross, 1973).

Рассмотрим избирательность нейронов нижневисочной коры. Данные о записи активности нейронов нижневисочной коры у макаков говорят о том, что нейроны могут изменять частоту спайков в ответ на сложные зрительные стимулы, в том числе и лица, но также и в ответ на реальные объекты и сложные формы (Holmes, 1984; Dean, 1976; Schwartz, 1983). Селективные ответы нейронов нижневисочной коры могут быть результатом нелинейных взаимодействий на иерархически организованном вентральном зрительном пути (Logothetis, 1996).

На примере отдельных нейронов Танака предложил схему упрощения некоторых сложных объектов, вызывающих максимальный ответ данной клетки, до более простых схематичных признаков, оптимальных для данного нейрона.

К. Танака с соавторами (Tanaka, 1993) было проведено детальное исследование активности нейронов нижневисочной коры обезьян. По аналогии с тем, как это сделали Хьюбел и Визел на нейронах первичной зрительной коры, все зарегистрированные нейроны были разделены на несколько групп: первичные, текстурные, детальные, смешанные, слабые, неответающие.

Первичные клетки – те, которые давали максимальный ответ на простые стимулы типа линий и кружков, подобранных по ориентации, длине и размеру (иногда по цвету). Линия могла часто быть заменена эллипсом, а круг – небольшим квадратом. Таким образом, четкая форма не являлась главным признаком для клеток этого типа.

Текстурные – клетки, оптимальным стимулом для которых являлись простые текстуры, такие как полосатые или точечные паттерны. Первичные и текстурные клетки отвечали так же и на более сложные стимулы, которые содержали характерный элементарный признак.

Детальные – клетки, которые активизировались в ответ на стимулы определенной формы или на определенное сочетание формы, цвета и текстуры.

Смешанные – активировались в ответ на смену цвета, на сложные движения, у некоторых клеток в *pretectal gyrus* обнаружены клетки с тормозным центром и возбуждающей периферией, их активность не зависела от контраста стимула.

Слабые – демонстрировали слабую активность лишь на некоторые стимулы. Ответ таких нейронов был слишком нестабильным, поэтому невозможно было изучить их избирательные свойства.

Молчащие (неотвечающие) – клетки, для которых не было найдено адекватного раздражителя.

Изучение активности близкорасположенных нейронов в нижневисочной коре может стать одним из ключевых моментов в понимании механизмов работы этого зрительного центра. Построение топографических карт – известный метод, применяемый для изучения зрительных областей V1 и MT (*middle temporal area*), слуховой области A1, соматосенсорной и моторной коры (Riesenhuber, 1999). Танака с соавторами опубликовали интересное наблюдение о том, что активность одиночных нейронов, расположенных вдоль одной нормали к поверхности коры, наилучшим образом отвечает на схожие, но все-таки не одинаковые объекты (Tanaka, 1991; Kandel, 2000). Более того, одновременная запись активности нескольких нейронов (*multi-unit activity, MUA*) показывает, что близкорасположенные нейроны могут демонстрировать одинаковые избирательные свойства (Fujita, 1992). Опираясь на эти данные, можно

предположить наличие колончатой организации в нижневисочной коре с размером колонок 200-500  $\mu\text{m}$  (Tanaka, 2003).

Предложенная колончатая структура ответов отдельных нейронов нижневисочной коры дает основания предположить, что более грубая регистрация от большой популяции нейронов также может показать избирательность к сложным зрительным стимулам. Используя методы с более низким пространственным, либо временным разрешением, чем регистрация активности отдельных нейронов, такие как оптическая когерентная томография (Gochin, 1991; Fujita, 1992), функциональная магнитно-резонансная томография фузиформной коры человека (Wang, 1996) и вызванные потенциалы у больных эпилепсией (Tsunoda, 2001), удалось показать наличие избирательности областей нижневисочной коры к объектам. Подобные данные объясняются наличием топографической организации, которая и обуславливает данную избирательность.

Внутрикорковая регистрация изменения потенциала, происходящего вследствие одновременного разряда множества нейронов (в англоязычной литературе – local field potentials, LFP), помимо регистрации множественной (multi-unit activity, MUA) и единичной (single-unit activity, SUA) спайковой активности нейронов, является еще одним электрофизиологическим методом, который позволяет следить за активностью большой группы нейронов. Впервые этот метод был применен в 1930-х годах. Считается, что основным компонентом сигнала LFP являются возбуждающие постсинаптические потенциалы на уровне дендритов. Данные внутрикорковой регистрации потенциалов больше коррелируют с данными фМРТ, чем данные об активности одиночных нейронов.

Данные, полученные при одновременной регистрации множественной активности нейронов (MUA) и внутрикорковой регистрации изменения потенциалов (LFP), показали, что, как и в более ранних работах Фуджиты с соавторами, избирательность спайковой активности в близкорасположенных

областях коры сильно коррелировали друг с другом. При этом было показано, что как минимум четверть ответов при регистрации изменения потенциалов селективно реагировала на изображения из стимульного набора. Данные, полученные в одном эксперименте с помощью двух разных методов, мало коррелировали друг с другом, тем не менее, было показано, что сигнал LFP, как и сигналы MUA в нижневисочной коре, может быть селективным к сложным объектам. Кроме того, эти данные подтверждают возможность топографического представления зрительной информации в нижневисочной коре и делают интересными исследования свойств ответов группы нейронов. Регистрация внутрикорковых вызванных потенциалов также поможет интерпретировать данные, полученные методом функциональной магнитно-резонансной томографии.

В нейрофизиологических и в модельных исследованиях Е.Ю. Малаховой и соавторами показано, как в «вентральной» нейронной сети затылочно-височной коры «зрительного мозга» приматов (макак-резус) происходит описание зрительных образов лиц и известных объектов. Авторами были определены метрики и оси пространства представления зрительных образов в «вентральной» нейронной сети приматов (Nam et al., 2001), впервые предложено применение генеративных нейронных сетей для исследования пространства (Малахова, 2018). Предложен новый подход к моделированию представления зрительных категорий посредством прототипов (Малахова, 2001), определяемых по матрицам ковариации активности всех регистрируемых нейронов. Установлено, каким образом постановка задачи и статистика обучающего множества влияют на формирование пространства зрительных образов в живом мозге и в искусственных нейронных сетях (Малахова, 2020). Показана динамика перехода от кодирования статистики сцены на начальных этапах обработки сигнала, к независимым сложным представлениям об объектах и сцене в большинстве промежуточных слоев, а затем к описанию пространства

задачи, стоящей перед искусственными нейронными сетями, по аналогии с живыми системами.

Моделирование механизмов восприятия с помощью сверточных нейронных сетей было проведено Е.Ю. Малаховой на основании экспериментальных данных, полученных О.В. Жуковой. Были измерены пороги распознавания улыбки Моны Лизы (Жукова и др., 2019). Оказалось, что восприятие лиц действительно доведено до физических порогов распознавания, ограниченных функцией рассеяния точки и остротой зрения (Кемпбелл, Шелепин, 1990). Таким образом, на основании полученных данных, была построена схема строения нижневисочной коры, состоящей из сверхколонок нейронов, которые реагируют на разные вариации в изображении одного объекта (рисунок 1).

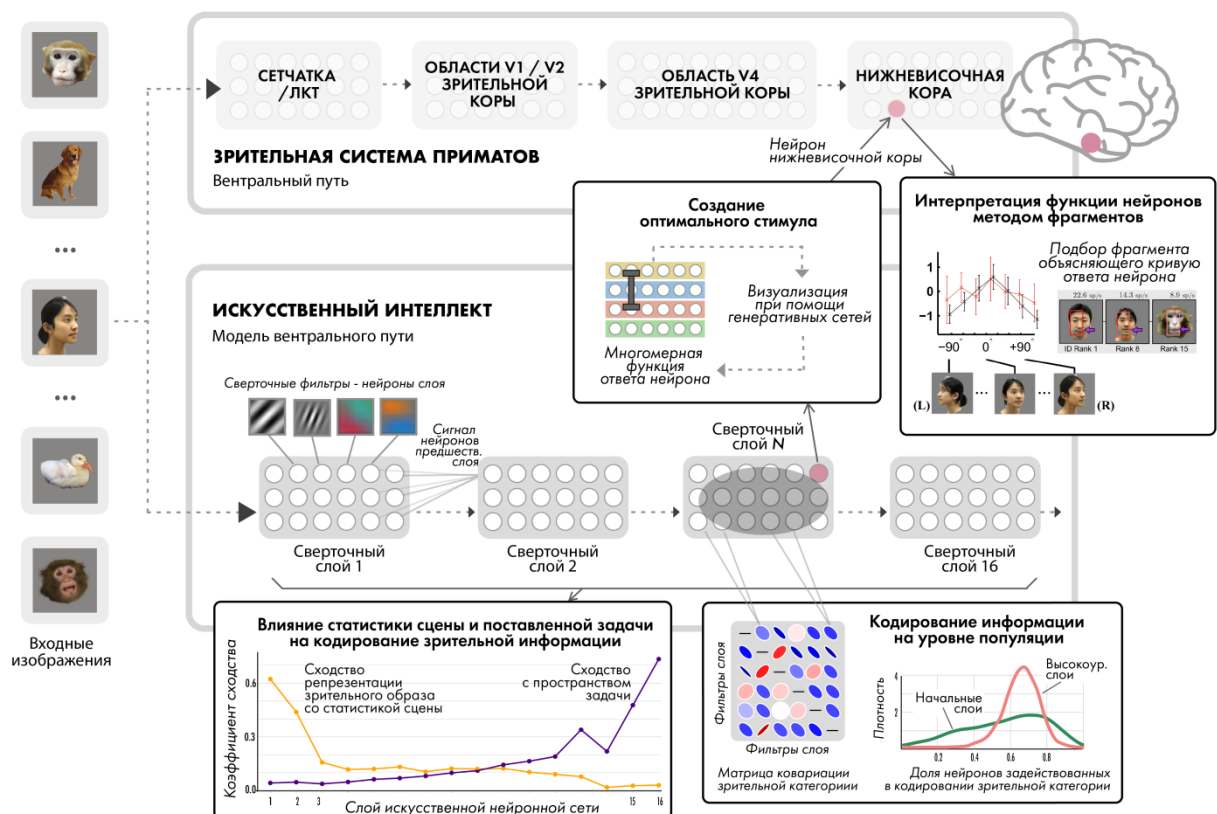


Рисунок 1 – Определение метрики и оси зрительного пространства в «вентральной» нейронной сети приматов с помощью искусственного интеллекта, обеспечивающего решение задач исследования и моделирования зрительных функций нейронов нижневисочной коры (Малахова, 2021; Nam et al., 2021)

В нейрофизиологических исследованиях определены метрика и оси пространства представления зрительной информации в «вентральной» нейронной сети затылочно-височной коры приматов (макак-резус). Предложен новый подход к моделированию представления зрительных категорий посредством прототипов, определяемых по матрицам ковариации активности всех регистрируемых нейронов. Установлено, каким образом постановка задачи и статистика обучающего множества влияют на формирование пространства представления информации в живом мозге и в искусственных нейронных сетях. Показана динамика перехода от кодирования статистики сцены на начальных этапах обработки сигнала, к независимым сложным представлениям о сцене в большинстве промежуточных слоев, а затем к описанию пространства задачи, стоящей перед искусственными нейронными сетями, по аналогии с живыми системами.

Следовательно, инвариантное описание к повороту дает не отдельный нейрон, а сверхколонка нейронов. Исследован механизм адаптации нейронов к изображению лица в нижневисочной коре. Мы предполагаем, что адаптация к семантике изображения для нейронов зрительной коры является важнейшей характеристикой их работы аналогично тому, как и на предыдущих уровнях зрительной системы, а именно для нейронов V1 (BA17). Колином Блейкмором и его соавторами была показана адаптация к физическим признакам изображения, таким как яркость, цвет, ориентация, контраст, пространственная частота (Blakemore, 1969).

У кошек большинство нейронов супрасильвиевой извилины, вероятно являющейся гомологичной структурой нижневисочной коры приматов, имеет очень быстрое привыкание. При зрительной стимуляции нейроны в этой зоне, имеющей гомологи в мозгу как BA37 и BA21, преимущественно дают ответы на первые предъявления (Шелепин, 1981; Шелепин, 1982; Шелепин, 1984).

Теперь, рассмотрев корковые области, участвующие в распознавании мимики, обратимся к анализу работы подкорковых структур, чтобы понять характер их взаимодействия между собой и с корой в ходе выполнения общей функции.

Амигдала обладает реципрокными связями с широким спектром как корковых, так и подкорковых структур: с орбитофронтальной корой, островковой долей, прилежащим ядром, таламусом, гиппокампом и другими. Однако рассмотрение ее как унитарной структуры представляется не вполне корректным, поскольку на практике она представляет собой комплекс анатомически, гистологически, биохимически и, главное, функционально различных ядер (Цветков, Краснощёкова, 2020). Существует множество классификаций ядер в составе амигдалы, однако здесь будет достаточным остановиться на одной из простейших. Рядом авторов принято объединять эти ядра в три группы: латеробазальную, центромедиальную и поверхностную группу (Roy et al., 2008).

Латеробазальная группа включает в себя, по одной из классификаций, латеральное, базолатеральное, базомедиальное, базовентральное ядро. Эти ядра обеспечивают ассоциативное обучение, благодаря афферентным связям с корковыми и подкорковыми областями, такими как таламус, гиппокамп и префронтальная кора.

Центромедиальная группа, состоящая из центрального и медиального ядра, участвует в формировании поведенческих ответов, что реализуется через связи со стволом мозга, а также корковыми и стриарными областями, в частности, с хвостатым ядром.

Основным ядром поверхностной группы является корковое ядро, вовлеченное в работу обонятельной системы и реализацию аффективных процессов (Roy et al., 2008).

Наиболее интересной в контексте рассматриваемой темы является латеробазальная группа ядер, так как именно она имеет информационные

входы от сенсорных областей мозга: вкусовых, соматосенсорных, слуховых и зрительных (Solano-Castiella, 2009).

Взаимодействие амигдалы с компонентами зрительной системы представляется все более тесным и разнообразным по мере получения новых данных: помимо наличия прямых эфферентных связей амигдалы со зрительной корой (Агаев, Панахова, 2009; Lim, Padmala, Pessoa, 2009), доказано, что под ее влиянием протекают и самые ранние этапы обработки зрительной информации (Агаев, Панахова, 2009; Adolphs, Spezio, Role, 2006). Основные входы зрительной информации представлены подушкой таламуса, но также огромное значение имеют связи с первичной зрительной корой области V1 (BA17). При этом многоканальные связи со структурами, осуществляющими разные этапы последовательной обработки информации, как предполагается, позволяют амигдале осуществлять модуляцию этого процесса на всех стадиях, а также оперативно формировать ответные поведенческие реакции. Амигдала посылает проекции как на дорсальный, так и на вентральный зрительный путь, что согласуется с широким спектром ответов, формируемых при ее участии. (Janak, Tye, 2015; Price, Amaral, 1981). Кроме того, существуют свидетельства ключевой роли миндалевидного тела во взаимодействии путей осознанного и неосознанного восприятия эмоциональных стимулов (Tamietto, de Gelder, 2010).

Прилежащее ядро представляет собой часть вентрального стриатума и является одной из центральных структур мозга, участвующих в механизмах вознаграждения. Прилежащее ядро обладает очень широким спектром связей с другими структурами мозга: на нем оканчиваются прямые проекции основания гиппокампа, амигдалы, таламуса, передней поясной и префронтальной коры, также сюда приходят не прямые связи от вентральной тегментальной области и черной субстанции. Основные эфференты прилежащего ядра идут к другим ядрам стриатума и в средний мозг, но существуют связи и с другими структурами. Прилежащее ядро состоит из

функционально различных зон: ядра и оболочки. Разделение функций между ними отражается четкой спецификацией связей: ядро имеет связи, главным образом, с другими подкорковыми структурами и вовлечено в выполнение моторных функций (Park et al., 2019), в то время как оболочка связана через вентромедиальную часть вентрального паллидума и дорзомедиальное ядро таламуса с префронтальной корой, а также моторными подкорковыми ядрами, амигдалой и гипоталамусом. По причине схожести паттернов связей со структурами мезокортикального пути, образуемых оболочкой прилежащего ядра и амигдалой, оболочка прилежащего ядра может рассматриваться даже как переходная зона между амигдалой и стриатумом (Salgado, Kaplitt, 2015).

Прилежащее ядро является частью ряда замкнутых путей и петель, включающих корковые и подкорковые структуры, регулирующие сложные паттерны поведения, такие как пищевое поведение, зависимость и мотивацию. Ключевую роль прилежащее ядро играет в пути позитивного эмоционального ответа, уравнивая активность амигдалы в ответ на негативные стимулы. Благодаря участию в системе удовольствия, нуклеус аккუმбенс принимает участие и в формировании условных ответов на стимулы и мотивационного поведения. Связь данной структуры с положительной оценкой стимула проявляется и при восприятии лиц: прилежащее ядро специфично активируется в ответ на привлекательные лица, преимущественно противоположного пола. Предполагается, что система вознаграждения-мотивации также принимает участие и в процессе оценки стимулов (Aharon et al., 2001).

Гиппокамп, как уже упоминалось, традиционно представляется ключевой структурой, участвующей в консолидации памяти и ориентации в пространстве. Для построения так называемых когнитивных карт необходима интеграция мультисенсорной контекстуальной информации и ее соотнесение с положением в пространстве (Posani, Cocco, Monasson, 2018).

В отношении вклада гиппокампа в обработку зрительной информации наиболее интересными представляются связи с периринальной корой (BA35, BA36), задействованной в обработке высокочастотной зрительной информации и распознавании комплексных объектов. Данный путь, проводящий информацию, отвечающую на вопрос «что?», конвергирует на гиппокампе с путями, несущими информацию, отвечающую на вопрос «где?», что и позволяет выполнять вышеупомянутые сложные функции (Kinnavane, Amin, Olarte-Sánchez, Aggleton, 2016).

Анатомически и функционально гиппокамп подразделяется на дорсальный, промежуточный и вентральный. Вентральный гиппокамп, в отличие от дорсального, обладает прямыми связями с амигдалой и прилежащим ядром (Bast, Zhang, Feldon, 2001). Тем не менее, опосредованное взаимодействие дорсального гиппокампа, в частности, зоны CA1, и базолатеральной амигдалы играет важную роль в консолидации социально-значимой памяти (Garrido et al., 2016).

Учитывая связи со зрительной системой и миндалевидным телом, а также вовлеченность в лимбическую систему, логично было бы предположить ключевую роль гиппокампа в обработке такого биологически-значимого стимула, как выражение лица. Однако исследования людей с повреждениями гиппокампа (Smith et al., 2014) показали, что способность распознавать лица у них сохраняется. Этот факт становится еще более удивительным, если принять во внимание то, что память, связанная с распознаванием любых других стимулов, таких как слова или предметы, была полностью нарушена. В качестве объяснения данного феномена авторы исследования выдвинули гипотезу, что функцию хранения памяти в подобных случаях берут на себя другие структуры, например, периринальная кора.

Принципиальным для понимания работы системы является не только перечисление функций, в выполнение которых вовлечена та или другая

структура, но и описание взаимодействия разных отделов мозга при выполнении одной и той же задачи. Обсудим некоторые частные случаи подобного взаимодействия, которые могут проиллюстрировать общие закономерности.

Так, в исследованиях стимулов, вызывающих неоднозначную оценку наблюдателя (такowymi являются изображения удивленного лица, которые могут быть интерпретированы как позитивно, как радостное удивление, так и негативно, как выражение испуга) была показана инвертированная активность вентральных отделов амигдалы и медиальной префронтальной коры: при положительной интерпретации стимула наблюдалась активация коры, в то время как при отрицательной интерпретации преимущественно возбуждалась амигдала (Kim et al., 2003).

Оппонентные связи миндалевидного тела и прилежащего ядра, согласно многим работам, задействованы в реализации специфических реакций на негативные и позитивные стимулы, при этом амигдала в большой степени активируется в ответ на предъявление авersive стимулов, в то время как структуры вентрального полосатого тела преимущественно активируются при реализации системы внутреннего вознаграждения в ответ на благоприятные стимулы (Satterthwaite, 2011). При этом, социально-значимые стимулы, в частности, эмоциональные выражения лиц, не являются исключением.

Оппонентные взаимодействия показаны и для ядер, входящих в состав самой амигдалы (Агаев, Панахова, 2009).

Таким образом, можно охарактеризовать наиболее общие принципы функционирования расширенной системы восприятия лиц.

Во-первых, для нее характерно наличие связей между отделами, осуществляющими разные этапы обработки информации, объединяющих все участвующие структуры не в линейную последовательность, а в сеть, что позволяет многократно реализовывать принцип обратной связи и

модулировать тем самым работу разных отделов на протяжении всего процесса восприятия, постоянно корректируя его протекание и сравнивая промежуточные результаты обработки в параллельных подсистемах. Нейрофизиологические основы понимания организации данных сетей были заложены Б.П. Бабкиным, который разработал концепцию о «временной связи» в нейронных сетях живых организмов (Бабкин, 1904).

Наиболее интересными примерами таких сетей являются сеть «зеркальных нейронов» и сеть эмпатии. Роль данных сетей связана с тем, что при восприятии значимых эмоциональных стимулов (лицо, движение), человек автоматически моделирует в своем сознании психическое состояние другого. Понимание того, что делают другие, как они себя чувствуют в определенной социальной ситуации, какие эмоции испытывают – все это является необходимым условием для того, чтобы успешно ориентироваться в сложном и постоянно меняющемся мире. Нейрофизиологической основой данного процесса погружения является работа «зеркальных нейронов» – групп нейронов, которые возбуждаются при выполнении какого-либо действия, а также при наблюдении за движениями другого индивидуума (Di Pellegrino et al., 1992; Gallese et al., 1996). Первоначально они были обнаружены в нижней лобной извилине (inferior frontal gyrus, IFG, BA44, BA45, BA47), затем в нижней теменной доле (inferior parietal lobule, IPL, BA40, BA39) и верхней височной борозде (sulcus temporalis superior, STS). Впоследствии в данную сеть был включен регион премоторной коры (BA6). Принято считать, что система «зеркальных нейронов», в первую очередь, связана с сенсорным невербальным взаимодействием и участвует в построении мимики, позы и жестов, в основном, при взаимодействии субъектов (Gallese et al., 2004; Iacoboni, 2005a; Keysers, 2004; Rizzolatti et al., 2001, 2004, 2008; Lewis et al., 2006; Niedenthal, 2007). Однако существует другое предположение, что данная функция – лишь верхушка айсберга. В действительности, наблюдаемый многими отклик «зеркальных нейронов»,

является функцией обучения нейронной сети на основе перепроверки правильности принятого решения (Шелепин, 2015).

Нейронная архитектура процесса подражания, согласно Марко Якобони (Iacoboni, 2005), состоит из следующих последовательных этапов: сигнал сначала поступает в верхнюю височную борозду, затем происходит его передача в задние теменные, оттуда – в нижнюю фронтальную извилину. В данной области происходит кодирование цели действия, его оценка. Далее сигнал возвращается в височную кору, в область STS. Согласно полученным данным Iacoboni и Rizzolatti (Iacoboni, 2005; Rizzolatti, 2001), в данной области происходит сравнение действия другого индивидуума и сенсорные последствия акта подражания. Если при сравнении наблюдается совпадение данных, то имеет место акт подражания.

Во-вторых, можно констатировать отсутствие жесткой специализации отдельных структур – как правило, в выполнение той или иной функции вовлечено несколько взаимосвязанных зон, что, помимо прочего, обеспечивает ресурс для пластичности при повреждениях мозга и помогает сохранить важные функции в случае утраты ключевых узлов сети.

В-третьих, важной особенностью рассматриваемой системы являются оппонентные, разнонаправленные взаимовлияния отделов мозга, позволяющие тонко дифференцировать даже незначительные характеристики стимулов и быстро формировать максимально точный ответ. Подчеркнем, что этот принцип является крайне важным в механизме принятия решения в задачах распознавания лиц. Ранее было показано, что баланс при восприятии формы изображения осуществляется при помощи оппонентного механизма взаимодействия разных нейронных структур аналогично тем оппонентным механизмам, которые известны в первичных структурах зрительной коры (Шелепин 1981; Шелепин и др., 2011; Шелепин и др., 2014). Также следует отметить, что, несмотря на определенную степень автономности, нейронная

сеть восприятия лиц глубоко интегрирована в общую зрительную систему (Tamietto, de Gelder, 2010).

Представление о том, что восприятие эмоций в изображении лиц включает различные стадии обработки информации и взаимодействие разнесенных в пространстве областей мозга, позволяет предположить, что эти процессы могут быть разделены также и во времени. В последние годы проблеме изучения временных характеристик распознавания эмоциональных выражений лиц посвящено множество исследований с помощью ЭЭГ и магнитной энцефалографии (МЭГ). Согласно существующим представлениям, специализированные нейронные системы в нижневисочной области активируются через 150-200 мс после предъявления лиц, что отражается в волне вызванного потенциала N170 (Bentin et al., 1996). Предполагается, что эти ответы отражают активацию ранних процессов описания, восприятия и категоризации лиц (Bentin et al., 2002). При этом, важно подчеркнуть, что компоненты P100 и P170 оказались устойчивыми и не менялись в зависимости от типа стимулов. Полученный результат подтверждает тот факт, что компоненты P100 и P170 отражают идентификацию лица. В соответствии с этой точкой зрения многие исследования показали, что на волну N170 не влияет выражение лица (Eimer et al., 2002), но влияет ориентация (Ashley et al., 2004). Аналогичные результаты получены Балкони и Луччиари (Balconi et al., 2005), которые при сопоставлении испуганных, счастливых, печальных и нейтральных лиц не обнаружили различий в N170 в отношении эмоционального содержания. Однако некоторые данные все же указывают на эмоциональную модуляцию волны N170. Так, была показана чувствительность волны N170 к выражению ужаса (Campanella, 2002), отвращения и счастья (Ashley et al., 2004). Показан выраженный эффект «знакомости» в задачах распознавания лиц (Podvigina, Prokopenya, 2019). В итоге, большинство исследователей делают вывод, что восприятие эмоционального выражения лиц происходит на более поздних

этапах. Так, различия в восприятии нейтральных и эмоционально окрашенных изображений лиц были обнаружены в волне вызванного потенциала P300, регистрируемой в центрально-теменных областях через 300 мс после предъявления стимула (Campanella et al., 2002; Schupp et al., 2004). Причем, некоторые поздние реакции вызванных потенциалов на эмоциональные лица продолжались в течение относительно долгого времени – до 1 с. Такие продолжительные реакции, вероятно, отражают сложные когнитивные процессы, запускаемые эмоциональными стимулами, после процессов первичной сенсорной обработки зрительных стимулов.

Необходимо отметить, что, так как общение представляет собой динамический процесс, который включает как минимум двух участников, широкое распространение в исследованиях социального взаимодействия получил метод гиперсканирования, заключающийся в одновременной записи ЭЭГ у двух и более людей (Montague et al., 2002). Первая подобная запись ЭЭГ была проведена еще в 1965 г. (Duane et al., 1965). Но только в последнее время этот метод изучения взаимодействия человека с человеком получил активное развитие в связи с развитием методов обработки изображений мимики и электроэнцефалограммы собеседников. Внедрение электроэнцефалографического подхода гиперсканирования позволило людям даже в ограниченных условиях эксперимента взаимодействовать естественным образом.

Однако исследования, проведенные с использованием данного метода, в основном, посвящены изучению либо вербальной (Pérez et al., 2019), либо невербальной коммуникации в отдельности (Kinoshita et al., 2019). Особое место в подобных исследованиях отводится изучению роли взгляда «глаза в глаза» и жестам. Так, результаты недавних работ, проведенных методом гиперсканирования ЭЭГ новорожденных и мам показал, что прямой взгляд (по сравнению со взглядом под углом) усиливает двунаправленную связь активности мозга между взрослыми и новорожденными во время общения,

что облегчает передачу информации при обучении во время раннего общения (Leong et al., 2017). Кроме того, младенцы вокализировали чаще во время прямых взглядов. Отдельные младенцы, которые вокализировали дольше, также демонстрировали более высокую связь со значимыми взрослыми. На основании своего исследования члены группы Виктории Леонг из Кембриджа сделали вывод о том, что «когда взрослый и малыш смотрят друг на друга, они сигнализируют о том, что готовы и хотят общаться» (Leong et al., 2017). Они обнаружили, что мозг ребенка, как и мозг взрослого, реагирует на сигнал о взгляде и синхронизируется с мозгом партнера. Этот механизм готовит ребенка и взрослого к общению, помогая сделать обучение более эффективным. Полученные результаты позволяют предположить, что у младенцев очень развита способность коммуницировать со своими значимыми взрослыми невербальным путем. Метод ЭЭГ гиперсканирования был применен и для изучения роли такого типа невербальной коммуникации, как язык жестов (Balconi, Fronda, 2020). В ходе данного исследования было выявлено влияние жеста на состояние мозга и межмозговую связь собеседников, а также показано наличие резонансных механизмов, лежащих в основе выполнения жестов и наблюдения за жестами. В ряде работ было показано, что усиление активности происходит именно в условиях зрительного контакта (Zhukova et al., 2018; Жукова, Щемелева, 2020; Щемелева и др., 2019). В исследовании (Liu et al., 2017) изучалась взаимосвязь «мозга с мозгом» по синхронизации гемодинамического ответа, при естественном речевом общении. Авторы использовали функциональную ближнюю инфракрасную спектроскопию (functional near-infrared spectroscopy, fNIRS) для записи мозговой активности у трех говорящих, рассказывающих истории, и у пятнадцати слушателей при понимании аудиозаписей этих историй. Мозговая активность слушателей значительно коррелировала (с задержкой) с активностью мозга говорящих. Записи fNIRS и функциональной магнитно-резонансной томографии (fMRI) слушателей,

понимающих ту же историю, демонстрировали выраженную связь между fNIRS изменениями концентрации кислородсодержащего гемоглобина и fMRI BOLD сигнала в областях мозга, связанных с пониманием речи. В случаях, когда понимания не было, корреляция между fNIRS и fMRI отсутствовала.

Особое внимание привлекают работы по изучению связи между асимметрией фронтальной ЭЭГ и восприятием эмоционального выражения наблюдаемых изображений лиц. Была исследована взаимосвязь между этими параметрами, эмоциональной обработкой и мозговой активностью с использованием психофизиологических методов, состоящих из анализа фронтальной асимметрии на электроэнцефалограмме (ЭЭГ), индексируемой альфа-полосой (Grimshaw, Carmel, 2014; Moody, 2016; Palmiero, Piccardi, 2017). Результаты показали, что альфа-колебания (8-12 Гц) играют ключевую роль в осознании и контроле внимания (Mazaheri et al., 2014). Разработана возможность асимметричного торможения на основе проведенных электрофизиологических, неврологических и клинических исследований (Grimshaw et al., 2014). Авторы предполагают, что фронтальная асимметрия отражает когнитивный контроль, ключевая роль в котором отведена дорсолатеральной области префронтальной коры (dlPFC), участвующей в исполнительных функциях, рабочей памяти, торможении, обновлении и внимании (Vossel et al., 2014). Эти данные совпадают с результатами исследований роли дорсолатеральной области префронтальной коры (dlPFC) в принятии решений и возникновении инсайта (Shelepin et al., 2018).

### **Нейрофизиологические особенности невербального общения представителей разных народов, обладающих принципиальными отличиями в структуре родного языка и письменности**

В контексте обсуждаемой проблемы межкультурного и межэтнического общения посредством мимики, прежде всего, необходимо

понять, существуют ли нейрофизиологические корреляты распознавания расы или восприятие лиц происходит одинаково, вне зависимости от их расовой принадлежности. Проводит ли зрительная система анализ этого признака как биологически значимого на неосознаваемом уровне или идентификация расы является процессом, контролируемым исключительно осознанно, по воле субъекта? На сегодняшний день на эти вопросы уже можно дать вполне однозначные ответы.

Одним из наиболее широко применяемых методов в данной сфере являются электроэнцефалография и, в частности, вызванные потенциалы. С их помощью удалось продемонстрировать наличие у людей способности быстро и однозначно идентифицировать лица своей и другой расы. Примечательно, что эта способность появляется на очень ранних этапах развития – пяти- и девятимесячные младенцы уже по-разному реагируют на предъявление лиц своей и чужой расы (Vogel, Monesson, Scott, 2012).

Электрофизиологические корреляты восприятия расы среди взрослых испытуемых также проявляются в изменении ряда закономерностей, известных для восприятия лиц вообще. В частности, наиболее широко изученным является так называемый эффект другой расы, заключающийся в более быстром и точном восприятии лиц своей расы по сравнению с лицами другой расы (Caharel et al., 2011). При этом в задачах категоризации, когда испытуемым предлагается лишь разделить предъявляемые лица на группы на основе расовой принадлежности, идентификация лиц другой расы требует меньшего времени, чем лиц той же расы, к которой принадлежит испытуемый.

Различия были продемонстрированы и на других эффектах: эффекте перевернутого лица, эффекте Тэтчер (в качестве стимулов используются изображения лиц с инвертированными глазами и ртом), эффекте превосходства целого над частью, эффекте составного лица (Caharel et al., 2011). Также было показано, что снижение амплитуды ответа на повторно

предъявляемое лицо значительно слабее для лиц другой расы по сравнению со своей (Vizioli, Rousselet, Caldara, 2010). Хотя не все исследования показывают схожие результаты, в целом перечисленные эксперименты позволяют предположить, что лица своей расы воспринимаются, в большей степени, холистически, в то время как при распознавании лиц другой расы большее внимание уделяется отдельным частям, и лишь по сумме которых складывается целостное представление. Вероятно, это связано с тем, что человек видит больше лиц одного типа и выучивает тип лица своей расы или той, среди представителей которой он вырос настолько хорошо, что знает и выучил мельчайшие подробности вариации лиц. Это напоминает обучение искусственных нейронных сетей – чем больше выборка образцов для обучения, тем обучение лучше. Поэтому мозг, в первую очередь, выявляет в лице собеседника особенности знакомого типа лица, в ущерб идентификации индивидуальных характеристик других лиц, которые неискушенному наблюдателю кажутся все на одно лицо. Помимо данного ясного подхода есть множество других. Дискуссия относительно справедливости различных теорий достаточно подробно рассмотрена (Byatt, Rhodes, 2004).

Применение методов нейровизуализации и, в первую очередь, функциональной магнитно-резонансной томографии, позволили выявить структуры мозга и нервные сети, специфичные к распознаванию лиц своей и чужой расы. Широкий обзор литературы, посвященной этой теме, представлен в мета-анализе А. Bagnis и коллег (Bagnis et al., 2020). По результатам многих исследований было выявлено, что в обработку расовых черт – как своей, так и другой расы – вовлечен широкий спектр корковых областей, главным образом, поясная извилина, части лобной, теменной и затылочной долей, такие как лингвальная извилина и нижняя теменная доля, а также подкорковые структуры, включая миндалевидное тело и гиппокамп.

Восприятие лиц своей расы коррелировало с активацией поясной извилины, медиальной фронтальной извилины и островковой доли, которые считаются связанными с процессами эмпатии и взаимодействием с себе подобными. Однако также вовлечены были и подкорковые регионы, связанные с переживанием эмоций и памятью. В частности, наблюдалась активация стриатума, ассоциированного с системой внутреннего вознаграждения, что интерпретируется как свидетельство наличия системы, мотивирующей социальное взаимодействие с членами своей группы.

Восприятие лиц другой расы, помимо корковых зон, участвующих в зрительном восприятии, внимании и категоризации, было связано с активацией подкорковых структур, ответственных за аффективные и эмоциональные процессы, в первую очередь, амигдалы и островковой доли. Авторы объясняют это активацией внимания посредством связей амигдалы с экстрастриарной зрительной корой, или же проявлением тревожности, вызванной видом «чужака» и продиктованной расовыми предрассудками. Однако, как известно, круг процессов, в обеспечение которых вовлечена амигдала, вовсе не ограничивается негативными эмоциями.

Авторы обзора предлагают объединять все вовлеченные в процесс расовой категоризации отделы в три функциональных кластера: первый, связанный с многоуровневой обработкой сенсорных сигналов; второй, вовлеченный в процессы эмпатии и формирования отношения к действительности; третий, обеспечивающий принятие решений и подготовку моторных ответов на предъявляемые стимулы.

Подводя итоги, авторы делают вывод о том, что восприятие лиц своей расы, в большей степени, вовлекает процессы эмпатии и самоидентификации, в то время как восприятие лиц другой расы активирует эмоциональные процессы и механизмы внимания, что объясняется новизной этих стимулов, требующей более тщательной обработки и, при этом, потенциально опасных.

Намного меньшее число работ посвящено исследованию восприятия не неподвижных, а динамичных лиц разных рас в процессе экспрессии эмоций. Несмотря на кажущееся принципиальное различие двух этих процессов – идентификации константных характеристик лица и распознавания динамики лица – обеспечивают их взаимосвязанные нейронные сети (Otten, Banaji, 2012). Причем конвергенция информации о расе и эмоциях наблюдаемого лица происходит, как предполагается, не в корковых областях, а в подкорковых ядрах, и, в первую очередь, ее связывают с миндалевидным телом. Учитывая эти факты, логично предположить, что расовая принадлежность способна оказывать влияние на процесс восприятия мимики. В одном из исследований (Lee et al., 2008) удалось выявить конкретные отличия в мозговой активности у корейских испытуемых при восприятии корейских и европейских лиц, выражавших различные эмоции (радость, грусть и нейтральное выражение).

Отличия в обработке негативных и позитивных эмоций подтвердили предыдущие исследования, показав преимущественную активацию вентрального стриатума в ответ на положительные эмоции и амигдалы – в ответ на отрицательные.

В целом, эмоциональные лица своей расы вызывали больший ответ в структурах лимбической системы (амигдале, гиппокампе, парагиппокампальной извилине и височной доле коры), тогда как при предъявлении эмоциональных лиц другой расы наблюдалась более сильная активация регионов, ответственных за когнитивные, зрительные и моторные функции: медиальной лобной извилины, лингвальной извилины, постцентральной извилины и нижней теменной доли (Lee et al., 2008).

При анализе ответов на предъявление нейтральных лиц были выявлены регионы, более специфично активирующиеся в ответ на лица своей и чужой расы. Так, при восприятии другой расы были задействованы медиальная и латеральная префронтальная кора. При восприятии же лиц своей расы в

большей степени активировались предклинье и задняя поясная извилина (Lee et al., 2008).

При интерпретации этих данных авторы указывают на необходимость более тщательной обработки черт лиц другой расы, что обуславливает вовлечение областей, участвующих в реализации высших когнитивных функций. Однако существует вероятность того, что в некоторых случаях активация префронтальных зон коры была обусловлена выполнением испытуемыми когнитивной задачи в ходе тестирования. В то же время, принято считать, что медиальная префронтальная кора участвует в описании и оценке как своего, так и чужого психического состояния (Шелепин и др., 2014a), в свете чего ее активация представляется закономерной. Предклинье часто ассоциируют с ментальными процессами самовосприятия и самоидентификации (Kjaer, Nowak, Lou, 2002), что в определенной степени может объяснять его активацию при наблюдении лиц своей расы, в отличие от лиц другой расы.

Результат, полученный на изображениях эмоциональных лиц, исследователи объясняют тем, что, вероятно, восприятие эмоций на лицах своей расы происходит автоматически, вне зависимости от наличия или отсутствия такой задачи у испытуемого, тогда как для обработки эмоционального выражения лиц другой расы задача должна быть инициирована при помощи когнитивного контроля.

Эти выводы согласуются с результатами других работ, свидетельствующих о раздельной, или, по крайней мере, не идентичной обработке эмоциональных лиц своей и чужой расы.

При этом интересно заметить, что для нейтральных лиц преобладание эмоционального компонента имеет место при восприятии лиц другой расы (Bagnis et al., 2020), тогда как при восприятии эмоциональных лиц, этот компонент преобладает, наоборот, в случае лиц своей расы. То есть, нейтральное лицо человека другой расы само по себе генерирует некоторые

эмоции у наблюдателя, но при наличии мимической экспрессии лицо своей расы вызывает больший эмоциональный отклик, а значит, он должен превосходить уровень, вызываемый нейтральным лицом другой расы. Существуют и прямые доказательства того, что лица другой расы вызывают достоверно меньший эмоциональный отклик у наблюдателя по сравнению с лицами своей расы (Otten, Banaji, 2012). Разная степень эмоционального ответа на релевантные стимулы может объясняться, как минимум, двумя причинами: либо фактором эмпатии (выражения лица человека другой расы воспринимается, но не вызывает сильных эмоций), либо точностью распознавания (мимика на лице другой расы воспринимается с меньшей точностью). Приведенные выше данные могут послужить аргументами в пользу обоих вариантов.

При этом в случае пониженной точности распознавания можно предположить несколько возможных объяснений: причина может заключаться в отличиях паттернов экспрессии эмоций (Russell, Dols, 2017; Chung, Robins, 2015), но также нельзя исключать эффекта наподобие маскировки, когда мимика становится хуже различимой из-за менее знакомой конфигурации лица. Разделить эти возможные причины в эксперименте представляется крайне сложным, чем, вероятно, и объясняется отсутствие в литературе описаний подобных исследований. Однако существуют работы, свидетельствующие о возможном влиянии конфигурации лица на решение наблюдателя об экспрессируемой на нем эмоции: даже нейтральное выражение лица имеет некоторые черты, характерные в определенной степени для того или иного выражения (Барабанчиков, 2016). Но возможны и принципиальные возражения. Во-первых, нейтральное выражение на практике получить довольно сложно. Поэтому наблюдателю могли быть видны просто плохо скрытые эмоции. Во-вторых, даже если удастся получить «действительно» нейтральное выражение, данный эффект можно объяснить тем, что наблюдатель всегда

старается приписать «нейтральному» лицу то или иное эмоциональное выражение.

## Заключение

На основании проведенного анализа исследований связей вентральной нейронной сети зрительной системы со структурами, определяющими эмоциональные реакции организма, можно сформулировать ряд важных выводов. Вероятно, существуют нейронные сети, определяющие восприятие лиц, мимики, нейронные сети, обеспечивающие эмоции и эмоциональные оценки, которые обладают определенной степенью автономности, но при этом глубоко интегрированные друг с другом и с другими системами, и испытывают взаимное влияние в ходе функционирования. Так, при восприятии мимики лица другого человека имеет место взаимодействие сетей, обрабатывающих характеристики лица (вентральный путь), а также зон, распознающих мимику эмоций (лимбическая кора, амигдала, гиппокамп и другие структуры, а также вентральный стриатум, участвующий в системе внутреннего вознаграждения). Конвергенция путей, несущих различную информацию о стимулах, на разных этапах обработки информации и оппонентные взаимодействия структур обеспечивают тонкую и пластичную работу данной системы. Схема вентральной нейронной сети и ее связи с некоторыми структурами «эмоционального» мозга показана на рисунке 2.

На схеме не показана дорзальная нервная сеть, структуры, связанные с устной речью, моторные области, в частности, управляющие движением глаз, а также комиссуральные связи и межполушарные различия. Изображенные линии не отражают реальный вес соответствующих связей между структурами, который может варьировать в широких пределах. Пунктирные линии иллюстрируют предполагаемые связи. Важно отметить, что каждая из этих линий обозначает прямую и обратную связь.

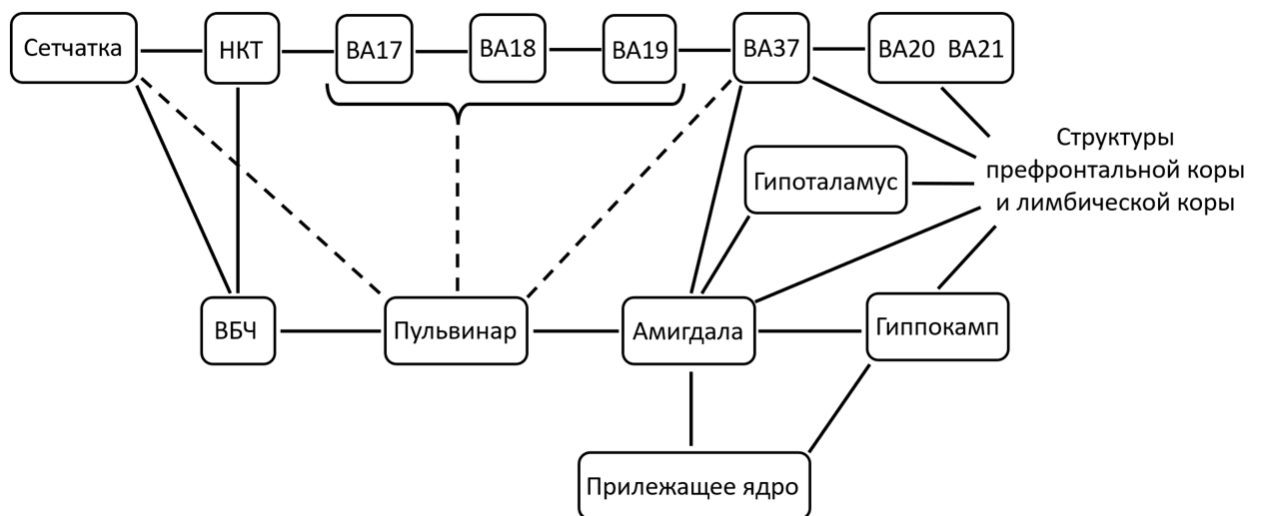


Рисунок 2 – Схема предлагаемой взаимосвязи основных структур мозга, обеспечивающих распознавание и эмоциональную окраску наблюдаемого объекта, представленных и обсуждаемых в данной статье (ВБЧ – верхние бугры четверохолмия; НКТ – наружное коленчатое тело)

Выраженная расовая принадлежность собеседника воспринимается на ранних этапах обработки зрительной информации и оказывает влияние на процесс распознавания эмоций. Эмоциональный ответ на предъявление лиц своей расы достоверно превосходит когнитивный вызванный потенциал, ответ на предъявление лиц другой расы.

Можно предположить несколько причин большего эмоционального ответа на лица своей расы (Russell, Dols, 2017; Crivelli, Fridlund, 2019; Chung, Robins, 2015). Но, вероятно, все проще. Амплитуда вызванного потенциала во многом зависит от числа одновременно срабатывающих нейронов. Обучение зрительных нейронных сетей головного мозга, как и искусственных, определяется числом однотипных образцов и частотой встречаемости, что в дальнейшем и определяет большую активность на знакомые лица.

Однако данное препятствие не является непреодолимым и может быть нивелировано в ходе адаптации к жизни в новой среде, по мере приобретения опыта общения с людьми, использующими иной стиль эмоциональных лицевых экспрессий (Chung, Robins, 2015). Таким образом, средства

невербальной коммуникации могут облегчать взаимодействие носителей разных языков, поскольку даже при использовании некоторых уникальных паттернов мимики, незнакомых собеседнику, невербальный канал продолжает нести большой объем социально-важной информации о состоянии человека, способствующей лучшему взаимопониманию.

Для получения количественной оценки эффективности невербального общения представляются целесообразными дальнейшие исследования, в частности, измерение порогов восприятия эмоциональных выражений представителями разных культур, которые пока что не были обнаружены в литературе, в то время как степень экспрессии того или иного выражения может играть ключевую роль в эффективности его восприятия (Барабанщиков, Королькова, Лободинская, 2018) и может варьировать в разных культурных группах. Например, для распознавания сиюминутного эмоционального состояния человека считается достаточным оценить мельчайшие изменения уголков его глаз и губ (Шелепин и др., 2014а). Нейрофизиология данного процесса была изучена в работах О.В. Жуковой и соавторов (2015, 2016, 2017, 2018).

Проведенный нами анализ организации крупномасштабных вентральных нейронных сетей направлен на дальнейшее развитие психофизиологических исследований невербальных форм общения, необходимых для проведения совместной целенаправленной деятельности людей с разными алгоритмами работы мозга, возникшими на основе некоторых генетических различий, различий воспитания, образования и социального поведения и, главное, принципиально разной структуры речи, вызывающих непреодолимые трудности вербального общения. Дальнейшие психофизиологические исследования в этой области позволят выявить общие элементы мимики собеседников, облегчающих достижение цели в процессе совместной созидательной деятельности.

# Список использованных источников

- Агаев Т.М., Панахова Э.Н. Амигдаллярная регуляция зрительной перцепции (нейрофизиологические и биохимические механизмы). Баку, ЭЛМ-НАУКА, 2009. 512 с.
- Бабкин Б.П. Опыт систематического изучения сложно-нервных (психических) явлений у собаки. Дис. на соиск. степ. д-ра мед. Б.П. Бабкина // Из физиологического отделения Императорского Института экспериментальной медицины / Серия докторских диссертаций, допущенных к защите в Императорской Военно-медицинской академии в 1904-1905 учебном году; № 4. СПб., 1904.
- Барабанщиков В.А. Динамика восприятия выражений лица. М., Когито-Центр, 2016. С. 378.
- Барабанщиков В.А., Королькова О.А., Лободинская Е.А. Распознавание эмоций в условиях ступенчатой стробоскопической экспозиции выражений лица // Экспериментальная психология, 2018. Т. 11. № 4. С. 50-69. doi: 10.17759/exppsy.2018110405
- Жукова О.В., Малахова Е.Ю., Шелепин Ю.Е. Джоконда и неопределенность распознавания улыбки человеком и искусственной нейронной сетью // Оптический журнал, 2019. Т. 86. № 11. С. 40-50. URL: doi:10.17586/1023-5086-2019-86-11-40-50
- Жукова О.В., Щемелева О.А. Соотношение влияния оптических и акустических каналов связи на собеседников // Оптический журнал, 2020. Т. 87. № 10.
- Кемпбелл Ф., Шелепин Ю.Е. Возможности фовеолы в различении объектов // Сенсорные системы, 1990. Т. 4. № 2. С. 181-185.
- Малахова Е.Ю. Визуализация информации, кодируемой нейронами высших областей зрительной системы // Оптический журнал, 2018. С. 61-66.
- Малахова Е.Ю. Представление категорий посредством прототипов согласованной активности нейронов в свёрточных нейронных сетях // J. Optical technology, 2021. № 12.
- Малахова Е.Ю. Пространство описания зрительной сцены в искусственных и биологических нейронных сетях // Оптический журнал, 2020. № 10.
- Цветков Е.А., Краснощёкова Е.И. Амигдаллярный комплекс. Физиология эмоций и памяти. СПб., Изд-во СПбГУ, 2020. 200 с.
- Шелепин Ю.Е. Введение в нейроиконику. СПб., 2017.
- Шелепин Ю.Е. Пространственно-частотные характеристики рецептивных полей нейронов латеральной супрасильвиевой области // Нейрофизиология, 1982. Т. 14. № 6. С. 608-614.
- Шелепин Ю.Е. Сопоставление топографических и пространственно-частотных характеристик латеральной супрасильвиевой и стриарной областей коры кошки // Нейрофизиология, 1984. Т. 16. № 1. С. 35-41.
- Шелепин Ю.Е. Фильтрационные свойства рецептивных полей нейронов зрительной коры // Доклады Академии наук СССР, 1981 б. Т. 261. № 6. С. 1506-1509.
- Шелепин Ю.Е., Борачук О.В., Пронин С.В., Фокин В.А., Хараузов А.К., Логунова Е.В., Васильев П.П. Лицо человека и нейрофизиология невербальных средств коммуникации // Лицо человека в науке, искусстве и практике / К.И. Ананьева, В.А. Барабанщиков, А.А. Демидов. М., Когито-Центр, 2015. С. 449-483.

- Шелепин Ю.Е., Борачук О.В., Пронин С.В., Хараузов А.К., Васильев П.П., Фокин В.А. Лицо и невербальные средства коммуникации // Петербургский психологический журнал, 2014. № 9. С. 1-43.
- Шелепин Ю.Е., Фокин В.А. Меньшикова С.В., Борачук О.В., Коскин С.А., Соколов В.А., Пронин С.В., Хараузов А.К., Васильев П.П., Вахрамеева О.А. Методы иконоки и методы картирования мозга в оценке функционального состояния зрительной системы // Сенсорные системы, 2014. № 2.
- Шелепин Ю.Е., Фокин В.А., Хараузов А.К., Фореман Н., Пронин С.В., Вахрамеева О.А., Чихман В.Н. Локализация методами нейроиконики механизмов принятия решений об упорядоченности текстур // Оптический журнал, 2011. Т. 78. С. 57-69.
- Шелепин Ю.Е.; Хараузов А.К.; Жукова О.В.; Пронин С.В.; Куприянов М.С.; Цветков О.В. Маскировка и обнаружение скрытых сигналов в динамических изображениях // Оптический журнал, 2020. Т. 87. № 10. С. 89-102.
- Щемелева О.В., Жукова О.В., Шелепин Ю.Е., Моисеенко Г.А., Васильев П.П. Электрофизиологические показатели деятельности мозга в процессе вербального и невербального взаимодействия собеседников // Физиология человека, 2019. Т. 45. № 6. С. 16-26. doi: 10.1134/S0131164619060110
- Adolphs R., Spezio M. Role of the amygdala in processing visual social stimuli // Prog. Brain Res., 2006. V. 156. Pp. 363-78. doi: 10.1016/S0079-6123(06)56020-0
- Aharon I., Etcoff N., Ariely D., Chabris C.F., O'Connor E., Breiter H.C. Beautiful Faces Have Variable Reward Value // Neuron, 2001. No. 32(3). Pp. 537-551. doi: 10.1016/s0896-6273(01)00491-3
- Ashley V., Vuilleumier P., Swick D. Time course and specificity of event-related potentials to emotional expressions // NeuroReport, 2004. V. 15. Pp. 211-216.
- Bagnis A., Celeghin A., Diano M., Mendez C.A., Spadaro G., Mosso C.O., Avenanti A., Tamietto M. Functional neuroanatomy of racial categorization from visual perception: A meta-analytic study // Neuroimage, 2020. V. 217. doi: 10.1016/j.neuroimage.2020.116939
- Balconi M., Fronda G. The Use of Hyperscanning to Investigate the Role of Social, Affective, and Informative Gestures in Non-Verbal Communication. Electrophysiological (EEG) and Inter-Brain Connectivity Evidence // Brain Sciences, 2020. V. 10. No. 29. URL: <https://doi.org/10.3390/brainsci10010029>
- Balconi M., Lucchiari C. Consciousness, emotion and face: An event-related potentials (ERP) study. John Benjamin, 2005.
- Balconi M., Pozzoli U. Face-selective processing and the effect of pleasant and unpleasant emotional expression on ERP correlates // International Journal of Psychophysiology, 2003. V. 49. Pp. 67-74.
- Bast T., Zhang W.-N., Feldon J. Hippocampus and classical fear conditioning // Hippocampus, 2001. No. 11(6). Pp. 828-831. doi:10.1002/hipo.1098
- Bennett D.S., Bendersky M., Lewis M. Facial Expressivity at 4 Months: A Context by Expression Analysis // Infancy, 2002. No. 3(1)ю 3зю 97-113. doi: 10.1207/S15327078IN0301\_5
- Bentin S., Allison T., Puce A., Perez E., McCarthy G. Electrophysiological studies of face perception in humans // Journal of Cognitive Neuroscience 1996. V. 8(6). Pp. 551-565.
- Bentin S., Carmel D. Accounts for the N170 face-effect: A reply to Rossion, Curran, Gauthier // Cognition, 2002. V. 85. Pp. 197-202.

- Blakemore C., Campbell F.W. On the existence of neurones in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images // *The Journal of Physiology*, 1969. V. 203(1). Pp. 237-60. doi: 10.1113/jphysiol.1969.sp008862
- Blakemore C., Cooper G.F. Modification of the visual cortex by experience // *Brain Research*, 1971. Vol. 31. Is. 2. P. 366. doi: 10.1016/0006-8993(71)90193-4
- Byatt G., Rhodes G. Identification of own-race and other-race faces: Implications for the representation of race in face space // *Psychonomic Bulletin & Review*, 2004. No. 11(4). Pp. 735-741. doi:10.3758/bf03196628
- Bzdok D., Laird A.R., Zilles K., Fox P.T., Eickhoff S.B. An investigation of the structural, connectional, and functional subspecialization in the human amygdala // *Hum Brain Mapping*, 2013. No. 34(12). Pp. 3247-3266. doi: 10.1002/hbm.22138
- Caharel S., Montalan B., Fromager E., Bernard C., Lalonde R., Mohamed R. Other-race and inversion effects during the structural encoding stage of face processing in a race categorization task: An event-related brain potential study // *International Journal of Psychophysiology*, 2011. V. 79(2). Pp. 266-271. doi:10.1016/j.ijpsycho.2010.10.01
- Calder A.J., Young A.W. Understanding the recognition of facial identity and facial expression // *Nat Rev Neurosci*, 2005. No. 6(8). Pp. 641-651. doi: 10.1038/nrn1724
- Campanella S., Gaspard C., Debatisse D., Bruyer R., Crommelinck M., Guérit J.M., Discrimination of emotional facial expressions in a visual oddball task: an ERP study // *Biol. Psychol.*, 2002. V. 59. Pp. 171-186.
- Camras L.A., Oster H., Bakeman R., Meng Z., Ujiie T., Campos J.J.. Do Infants Show Distinct Negative Facial Expressions for Fear and Anger? Emotional Expression in 11-Month-Old European American, Chinese, and Japanese Infants // *Infancy*, 2007. No. 11. Pp. 131-155.
- Cheng K., Saleem K.S., Tanaka K. PHA-L study of the subcortical projections of the macaque inferotemporal cortex // *Soc. Neurosci. Abstr.*, 1993. No. 19. P. 971.
- Chung J.M., Robins R.W. Exploring Cultural Differences in the Recognition of the Self-Conscious Emotions // *PLoS One*, 2015. V. 26. No. 10(8): e0136411. doi:10.1371/journal.pone.0136411
- Corrow S.L., Dalrymple K.A., Barton J.J. Prosopagnosia: current perspectives // *Eye Brain*, 2016. V. 26. Is. 8. Pp. 165-175. doi: 10.2147/EB.S92838
- Crivelli C., Fridlund A.J. Inside-Out: From Basic Emotions Theory to the Behavioral Ecology View // *Journal of Nonverbal Behavior*, 2019. V. 43(2). Pp. 161-194. doi:10.1007/s10919-019-00294-2
- de Gelder B., Vroomen J., Pourtois G., Weiskrantz L. Non-conscious recognition of affect in the absence of striate cortex // *Neuroreport*, 1999. V. 16. Is. 10(18). Pp. 3759-3763. doi: 10.1097/00001756-199912160-00007
- Dean P. Effects of inferotemporal lesions on the behavior of monkeys // *Psychol Bull.*, 1976. V. 83. Pp. 41-71.
- Di Pellegrino G., Fadiga L., Fogassi L., Gallese V., Rizzolatti G. Understanding motor events: a neurophysiological study // *Exp. Brain Res.*, 1992. V. 91. Pp. 176-180.
- Duane T.D., Behrendt T. Extrasensory electroencephalographic induction between identical twins // *Science*, 1965. V. 150. P. 367.
- Eimer M., Holmes A. An ERP study on the time course of emotional face processing // *NeuroReport*, 2002. V. 13. Pp. 427-431.

- Ekman P., Friesen W.V. Constants across cultures in the face and emotion // *Journal of Personality and Social Psychology*, 1971. V. 17(2). Pp. 124-129. doi:10.1037/h0030377
- Farah M.J., Wilson K.D., Drain M., Tanaka J.N. What is «special» about face perception? // *Psychological Review*, 1998. V. 105. Is. 3. Pp. 482-498.
- Fujita I., Tanaka K., Ito M., Cheng K. Columns for visual features of objects in monkey inferotemporal cortex // *Nature*, 1992. V. 360. Pp. 343-346.
- Furl N., Henson R.N., Friston K.J., Calder A.J. Network Interactions Explain Sensitivity to Dynamic Faces in the Superior Temporal Sulcus // *Cerebral Cortex*, 2015. V. 25. Is. 9. Pp. 2876-2882. doi.org/10.1093/cercor/bhu083
- Gallese V., Fadiga L., Fogassi L., Rizzolatti G. Action recognition in the premotor cortex // *Brain*, 1996. V. 119. Pp. 593-609.
- Gallese V., Keysers C., Rizzolatti G. A unifying view of the basis of social cognition // *Trends Cogn Sci.*, 2004. V. 8. Pp. 396-403.
- Garrido Zinn C., Clairis N., Silva Cavalcante L.E., Furini C.R., de Carvalho Myskiw J., Izquierdo I. Major neurotransmitter systems in dorsal hippocampus and basolateral amygdala control social recognition memory // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2016. V. 113(33): E4914-9. doi: 10.1073/pnas.1609883113
- Glezer V.D. Vision and Mind // *Nauka*, Leningrad, 1985.
- Glezer V.D., Yakovlev V.V., Gauselman V.E. Harmonic basis function for spatial coding in the cat striate cortex // *Visual Neurosci.*, 1989. V. 3. Pp. 351-383.
- Gochin P.M., Miller E.K., Gross C.G., Gerstein G.L. Functional interactions among neurons in Macaque inferior temporal cortex // *Exp. Brain Res.*, 1991. V. 84. Pp. 505-516.
- Grebelsky-Lichtman T. Verbal versus nonverbal primacy: Children's response to parental incongruent communication // *Journal of Social and Personal Relationships*, 2017. V. 34(5). Pp. 636-661. doi:10.1177/0265407516651158
- Grill-Spector K., Weiner K.S., Kay K., Gomez J. The Functional Neuroanatomy of Human Face Perception // *Annu. Rev. Vis. Sci.*, 2017. No. 3. Pp. 167-196. doi: 10.1146/annurev-vision-102016-061214
- Grimshaw G.M., Carmel D. An asymmetric inhibition model of hemispheric differences in emotional processing // *Front. Psychol.*, 2014. No. 5. P. 489. doi: 10.3389/fpsyg.2014
- Grimshaw G.M., Foster J.J., Corballis P.M. Frontal and parietal EEG asymmetries interact to predict attentional bias to threat // *Brain Cogn.*, 2014. V. 90. Pp. 76-86. doi: 10.1016/j.bandc.2014.06.008
- Gross C.G. Visual Function of Inferotemporal Cortex // *Handbook of Sensory Physiology* / Ed. by R. Jung Berlin, Springer-Verlag., 1973. Pp. 451-482.
- Gross C.G., Sergent J. Face recognition // *Current pinion in Neurobiology*, 1992. Pp. 156-161.
- Gross. C.G. Visual functions of inferotemporal cortex // *Handbook of Sensory Physiology* / Ed. by R. Jung. Berlin, Springer, 1972. V. 7. Part 3.
- Hall J.A., Horgan T.G., Murphy N.A. Nonverbal Communication // *Annual Review of Psychology*, 2018. V. 70(1). doi: 10.1146/annurev-psych-010418-103145
- Haxby J., Gobbini M. Distributed neural systems for face perception // *The Oxford handbook of face perception* / Ed. by A. Calder. UK, Oxford Univ. Press., 2011. Pp. 93-110.
- Haxby J.V., Hoffman E.A., Gobbini M.I. Distributed human neural systems for face perception // *Trends Cogn. Sci.*, 2000. V. 4. Pp. 223-233.

- Holmes E.J., Gross C.G. Effects of inferior temporal lesions on discrimination of stimuli differing in orientation // *The Journal of Neuroscience*, 1984. V. 4. No. 12. Pp. 3063-3068.
- Iacoboni M. Neural mechanisms of imitation // *Curr. Opin. Neurobiol.*, 2005. V. 15. P. 632-637.
- Ishai A. Let's face it: it's a cortical network // *Neuroimage*, 2008. V. 40. Pp. 415-419.
- Iwai E. Yukie M. Amygdalofugal and amygdalopetal connections with modality specific visual cortical areas in macaques (*Macaca fuscata*, *M. mulatta*, and *M. fascicularis*) // *J. Comp. Neurol.*, 1987. V. 261. Pp. 362-387.
- Iwai E., Mishkin M. Further evidence on the locus of the visual area in the temporal lobe of the monkey // *Exp. Neurol.*, 1969. V. 25. Pp. 585-594.
- Janak P.H., Tye K.M. From circuits to behaviour in the amygdala // *Nature*, 2015. V. 517(7534). Pp. 284-292. doi: 10.1038/nature14188
- Kandel E., Schwartz J., Jessell T. Principles of Neural Science. New York, McGraw-Hill, 2000.
- Kedo O., Zilles K., Palomero-Gallagher N., Schleicher A., Mohlberg H., Bludau S., Amunts K. Receptor-driven, multimodal mapping of the human amygdala // *Brain Struct Funct.*, 2018. V. 223(4). Pp. 1637-1666. doi: 10.1007/s00429-017-1577-x
- Kesler-West M.L., Andersen A.H., Smith C.D., Avison M.J., Davis C.E., Kryscio R.J., Blonder L.X. Neural substrates of facial emotion processing using fMRI // *Cogn. Brain Res.*, 2001. V. 11(2). Pp. 213-226. doi: 10.1016/s0926-6410(00)00073-2
- Keysers C., Perrett D.I. Demystifying social cognition: A Hebbian perspective // *Trend Cogn. Sci.*, 2004. V. 8. Pp. 501-507.
- Kim H., Somerville L.H., Johnstone T., Alexander A.L., Whalen P.J. Inverse amygdala and medial prefrontal cortex responses to surprised faces // *Neuroreport*, 2003. V. 14(18). Pp. 2317-2322. doi: 10.1097/00001756-200312190-00006
- Kinnavane L., Amin E., Olarte-Sánchez C.M., Aggleton J.P. Detecting and discriminating novel objects: The impact of perirhinal cortex disconnection on hippocampal activity patterns // *Hippocampus*, 2016. V. 26(11). Pp. 1393-1413. doi:10.1002/hipo.22615
- Kinoshita T., Tanaka H., Yoshino K., Nakamura S. Measuring Affective Sharing between Two People by EEG Hyperscanning // *ICMI '19 Adjunct: Adjunct of the 2019 International Conference on Multimodal Interaction*, 2019.
- Kjaer T.W., Nowak M., Lou H.C. Reflective self-awareness and conscious states: PET evidence for a common midline parietofrontal core // *Neuroimage*, 2002. V. 17(2). Pp. 1080-1086
- Kobatake E., Tanaka K. Neuronal selectivities to complex object features in the ventral visual pathway of the macaque cerebral cortex // *J. Neurophysiol.*, 1994. V. 71. Pp. 856-867.
- Konorski J. Integrative Activity of the Brain. Chicago, Univ. of Chicago Press, 1967.
- Lee K.U., Khang H.S., Kim K.T., Kim Y.J., Kweon Y.S., Shin Y.W., Kwon J.S., Ho S.H., Garfinkel S.N., Chae J.H., Liberzon I. Distinct processing of facial emotion of own-race versus other-race // *Neuroreport*, 2008. V. 19(10). Pp. 1021-1025. doi: 10.1097/WNR.0b013e3283052df2
- Leong V., Byrne E., Clackson K., Georgieva S., Lam S., Wass S. Speaker gaze increases information coupling between infant and adult brains // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2017. V. 114(50). Pp. 13290- 13295. doi:10.1073/pnas.1702493114
- Lewis J.W., Phinney R.E., Brefczynski J.A., DeYoe. E.A. Lefties get it “right” when hearing tool sounds // *J. Cogn. Neurosci.*, 2006. V. 18. Pp. 1314-1330.

- Lim S.L., Padmala S., Pessoa L. Segregating the significant from the mundane on a moment-to-moment basis via direct and indirect amygdala contributions // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2009. V. 106(39). Pp. 16841-16846. doi: 10.1073/pnas.0904551106
- Liu Y., Piazza E.A., Simony E., Shewokis P.A., Onaral B., Hasson U., Ayaz H. Measuring speaker-listener neural coupling with functional near infrared spectroscopy // *Sci. Rep.*, 2017. V. 7. P. 43293. doi: 10.1038/srep43293
- Logothetis N.K., Sheinberg D.L. Visual object recognition // *Annu. Rev. Neurosci.*, 1996. V. 19. Pp. 577-621.
- Mazaheri A., van Schouwenburg M., Dimitrijevic A., Denys D., Cools R., Jensen O. Region specific modulations in oscillatory alpha activity serves to facilitate processing in the visual and auditory modalities // *Neuroimage*, 2014. V. 87. Pp. 356-362. doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.10.052
- Montague P.R., Berns G.S., Cohen J.D., McClure S.M., Pagnoni G., Dhamala M. Hyperscanning: simultaneous fMRI during linked social interactions // *Neuroimage*, 2002. V. 16(4). Pp. 1159-1164.
- Moody R. Testing the Asymmetric Inhibition Model: Frontal EEG Asymmetry Does Not Predict Inhibitory Control of Emotional Distractors, 2016. URL: <http://hdl.handle.net/10063/5423>
- Nakamura H., Gattass R., Desimone R., Ungerleider L.G. The modular organization of projections from areas V1 and V2 to areas V4 and TEO in macaques // *J. Neurosci.*, 1993. V. 13. Pp. 3681-3691.
- Nam Y., Sato T., Uchida G., Malakhova E., Ullman S., Tanifuji M. View-tuned and view-invariant face encoding in IT cortex is explained by selected natural image fragments // *Sci. Rep.*, 2021. V. 11. doi.org/10.1038/s41598-021-86842-7
- Niedenthal P.M. Embodying emotion // *Science*, 2007. V. 316. Pp. 1002-1005.
- Otten M., Banaji M.R. Social categories shape the neural representation of emotion: evidence from a visual face adaptation task // *Front. Integr. Neurosci.*, 2012. V. 6. doi: 10.3389/fnint.2012.00009
- Palmiero M., Piccardi L. Frontal EEG asymmetry of mood: a mini-review // *Front. Behav. Neurosci.*, 2017. V. 11. doi: 10.3389/fnbeh.2017.00224
- Park Y.S., Sammartino F., Young N.A., Corrigan J., Krishna V., Rezai A.R. Anatomical review of the ventral capsule/ventral striatum and the nucleus accumbens to guide target selection for deep brain stimulation for obsessive-compulsive disorder // *World Neurosurgery*, 2019. doi:10.1016/j.wneu.2019.01.254
- Perrett D.I., Rolls E.T., Caan W. Visual neurones responsive to faces in the monkey temporal cortex // *Exp. Brain. Res.*, 1982. V. 47(3). Pp. 329-342.
- Perrett D.I., Smith P.A., Mistlin A.J., Chitty A.J., Head A.S., Potter D.D., Broennimann R., Milner A.D., Jeeves M.A. Visual analysis of body movements by neurones in the temporal cortex of the macaque monkey: a preliminary report // *Behav. Brain. Res.*, 1985. V. 16(2-3). Pp. 153-170.
- Pitcher D., Walsh V., Duchaine B. The role of the occipital face area in the cortical face perception Network // *Exp. Brain. Res.*, 2011. V. 209. Pp. 481-493. doi: 10.1007/s00221-011-2579-1123
- Podvigina D.N., Prokopenya V.C. Role of familiarity in recognizing faces and words: an EEG study // *Sovremennye tehnologii v medicine*, 2019. V. 11(1). Pp. 76-83. URL: <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.1.09>

- Posani L., Cocco S., Monasson R. Integration and multiplexing of positional and contextual information by the hippocampal network // *PLoS Comput. Biol.*, 2018. V. 14(8): e1006320. doi: 10.1371/journal.pcbi.1006320
- Price J.L., Amaral D.G. An autoradiographic study of the projections of the central nucleus of the monkey amygdala // *J. Neurosci.*, 1981. V. 1(11). Pp. 1242-1259. doi: 10.1523/JNEUROSCI.01-11-01242.1981
- Riedl V., Utz L., Castrillón G., Grimmer T., Rauschecker J.P., Ploner M., Friston K.J., Drzezga A., Sorg Chr. Metabolic connectivity mapping reveals effective connectivity in the resting human brain // *PNAS*, 2016. V. 113(2). Pp. 428-433. doi: 10.1073/pnas.1513752113
- Riesenhuber M., Poggio T. Hierarchical models of object recognition in cortex // *Nat. Neurosci.*, 1999. No. 2. Pp. 1019-1025.
- Rizzolatti G., Craighero L. The mirror-neuron system // *Annu. Rev. Neurosci.*, 2004. V. 27. Pp. 169-192.
- Rizzolatti G., Fogassi L., Gallese V. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action // *Nat. Rev. Neurosci.*, 2001. V. 2. Pp. 661-670.
- Rizzolatti G., Sinigaglia C. Further reflections on how we interpret the actions of other // *Nature*, 2008. V. 455. P. 589.
- Rolls E.T. Neurophysiological mechanisms underlying face processing within and beyond the temporal cortical visual areas // *Philos. Trans. R. Soc. Lond. (Biol.)*, 1992. V. 335. Pp. 11-21.
- Rolls E.T., Baylis G.C., Hasselmo M.E. The responses of neurons in the cortex in the superior temporal sulcus of the monkey to band-pass spatial frequency filtered faces // *Vision Research*, 1987. V. 27. Pp. 311-326.
- Rolls E.T., Baylis G.G. Size and contrast have only small effects on the responses to faces of neurons in the cortex of the superior temporal sulcus of the monkey // *Experimental Brain Research*, 1986. Pp. 38-48.
- Roy A.K., Shehzad Z., Margulies D.S., Kelly A.M., Uddin L.Q., Gotimer K., Biswal B.B., Castellanos F.X., Milham M.P. Functional connectivity of the human amygdala using resting state fMRI // *Neuroimage*, 2009. V. 45(2). Pp. 614-626. doi: 10.1016/j.neuroimage.2008.11.030
- Russell J.A., Dols J.M.F. The Science of Facial Expression. Published to Oxford Scholarship Online, 2017. doi: 10.1093/acprof:oso/9780190613501.001.0001
- Saleem K.S., Tanaka K., Rockland K.S. Specific and columnar projection from area TEO to TE in the macaque inferotemporal cortex // *Cereb. Cortex*, 1993b. V. 3. Pp. 454-464.
- Salgado S., Kaplitt M. G. The Nucleus Accumbens: A Comprehensive Review // *Stereotactic and Functional Neurosurgery*, 2015. V. 93(2). Pp. 75-93. doi: 10.1159/000368279
- Sarkheil P., Goebel R., Schneider F., Mathiak K. Emotion unfolded by motion: a role for parietal lobe in decoding dynamic facial expressions // *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.*, 2013. V. 8. Pp. 950-957. doi: 10.1093/scan/nss092
- Satterthwaite T.D., Wolf D.H., Pinkham A.E., Ruparel K., Elliott M.A., Valdez J.N., Overton E., Seubert J., Gur R.E., Gur R.C., Loughhead J. Opposing amygdala and ventral striatum connectivity during emotion identification // *Brain. Cogn.*, 2011. V. 76(3). Pp. 353-363. doi: 10.1016/j.bandc.2011.04.005

- Schupp H.T., Ohman A., Junghofer M., Weike A.I., Stockburger J., Hamm A.O. The facilitated processing of threatening faces: an ERP analysis // *Emotion*, 2004b. V. 4. Pp. 189-200.
- Schwartz E.L., Desimone R., Albright T.D., Gross C.G. Shape recognition and inferior temporal neurons // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1983. V. 80. Pp. 5776-5778.
- Shelepin K.Yu., Trufanov G.E., Fokin V.A., Vasil'ev P.P., Sokolov A.V. Digital visualization of the activity of neural networks of the human brain before, during, and after insight when images are being recognized // *Journal of Optical Technology*, 2018. V. 85. Is. 8. Pp. 468-475. doi.org/10.1364/JOT.85.000468
- Smith C.N., Jeneson A., Frascino J.C., Kirwan C.B., Hopkins R.O., Squire L.R. When recognition memory is independent of hippocampal function // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014. V. 111(27). Pp. 9935-9940. doi: 10.1073/pnas.1409878111
- Solano-Castiella E., Anwender A., Lohmann G., Weiss M., Docherty C., Geyer S., Reimer E., Friederici A.D., Turner R. Diffusion tensor imaging segments the human amygdala in vivo // *Neuroimage*, 2010. V. 49(4). Pp. 2958-2965. doi: 10.1016/j.neuroimage.2009.11.027
- Suzuki W.A., Amaral D.G. Perirhinal and parahippocampal cortices of the macaque monkey: cortical afferents // *J. Comp. Neurol.*, 1994. V. 350. Pp. 497-533.
- Tamietto M., de Gelder B. Neural bases of the non-conscious perception of emotional signals. *Nat Rev. Neurosci.*, 2010. V. 11. Pp. 697-709. doi.org/10.1038/nrn2889
- Tanaka J.W., Sengco J.A. Features and their configuration in face recognition // *Memory and Cognition*, 1997. V. 25. Pp. 583-592.
- Tanaka K. Columns for Complex Visual Object Features in the Inferotemporal Cortex: Clustering of Cells with Similar but Slightly Different Stimulus Selectivities // *Cerebral Cortex*, 2003. V. 13. Pp. 90-99.
- Tanaka K. Inferotemporal cortex and object vision // *Annual Review of Neuroscience*, 1996. V. 19. Pp. 109-139.
- Tanaka K. Neuronal mechanism of object recognition // *Science*, 1993. V. 262. Pp. 685-688.
- Tanaka K., Saito H., Fukada Y., Moriya M. Coding visual images of objects in the inferotemporal cortex of the macaque monkey // *J. Neurophysiol.*, 1991. V. 66. No. 1. Pp. 170-189.
- Tettamanti M., Rognoni E., Cafiero R., Costa T., Galati D., Perani D. Distinct pathways of neural coupling for different basic emotions // *Neuroimage*, 2012. V. 59(2). Pp. 1804-1817. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.08.018
- Tsuchiya N., Kawasaki H., Oya H., Howard M.A.3rd, Adolphs R. Decoding face information in time, frequency and space from direct intracranial recordings of the human brain // *PLoS One*, 2008. V. 3(12): e3892. doi: 10.1371/journal.pone.0003892
- Tsunoda K., Yamane Y., Nishizaki M., Tanifuji M. Complex objects are represented in macaque inferotemporal cortex by the combination of feature columns // *Nat. Neurosci.*, 2001. V. 4. No. 8. Pp. 832-838.
- Ungerleider E., Gaffan D., Pelak V.S. Projections from inferior temporal cortex to prefrontal cortex via the uncinate fascicle in rhesus monkeys // *Exp. Brain Res.*, 1989. V. 76. Pp. 473-484.
- Valente D., Theurel A., Gentaz E. The role of visual experience in the production of emotional facial expressions by blind people: a review // *Psychon. Bull. Rev.*, 2018. V. 25. Pp. 483-497. doi.org/10.3758/s13423-017-1338-0

- Vizioli L., Rousselet G.A., Caldara R. Neural repetition suppression to identity is abolished by other-race faces // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2010. V. 107(46). Pp. 20081-20086. doi: 10.1073/pnas.1005751107
- Vogel M., Monesson A., Scott L.S. Building biases in infancy: the influence of race on face and voice emotion matching // *Dev. Sci.*, 2012. V. 15(3). Pp. 359-372. doi: 10.1111/j.1467-7687.2012.01138.x
- Vossel S., Geng J.J., Fink G.R. Dorsal and ventral attention systems: distinct neural circuits but collaborative roles // *Neuroscientist*, 2014. V. 20. Pp. 150-159. doi: 10.1177/1073858413494269
- Walker M.B., Trimboli A. Communicating Affect: The Role of Verbal and Nonverbal Content // *Journal of Language and Social Psychology*, 1989. V. 8(3-4). Pp. 229-248. doi: 10.1177/0261927X8983005
- Wang G., Tanaka K., Tanifuji M. Optical imaging of functional organization in the monkey inferotemporal cortex // *Science*, 1996. V. 272. Pp. 1665-1668.
- Zhukova O.V., Shelepin Yu.E., Maksimova V.A., Vasil'ev P.P., Vershinina E.A., Fokin V.A., Sokolov A.V. Deciding on the minimum changes in images of a human face under conditions of indeterminacy // *Journal of Optical Technology*, 2016. V. 83. Is. 12. Pp. 753-759.
- Zhukova O.V., Shelepin Yu.E., Shchemeleva O.V., Vasil'ev P.P., Moiseenko G.A. Influence of verbal and nonverbal signals on an interlocutor's electroencephalogram // *Journal of Optical Technology*, 2018. V. 85. Is. 8. Pp. 455-462.

## References

- Agaev T.M., Panakhova E.N. Amigdaliarnaia reguliatsiia zritel'noi pertseptsii (neirofiziologicheskie i biokhimicheskie mekhanizmy) [Amygdala regulation of visual perception (neurophysiological and biochemical mechanisms)]. Baku, ELM-NAUKA Publ., 2009. 512 p. (In Russian)
- Babkin B.P. Opyt sistematicheskogo izucheniia slozhno-nervnykh (psikhicheskikh) iavlenii u sobaki [The experience of a systematic study of complex nervous (mental) phenomena in a dog]. Dis. na soisk. step. d-ra med. B.P. Babkina // *Iz fiziologicheskogo otdeleniia Imperatorskogo Instituta eksperimental'noi meditsiny / Seriia doktorskikh dissertatsii, dopushchennykh k zashchite v Imperatorskoi Voenno-meditsinskoi akademii v 1904-1905 uchebnom godu*; No. 4. St. Petersburg, 1904. (In Russian)
- Barabanshchikov V.A. Dinamika vospriiatiia vyrazhenii litsa [The dynamics of the perception of facial expressions]. Moscow, Kogito-Tsentr Publ., 2016. P. 378. (In Russian)
- Barabanshchikov V.A., Korol'kova O.A., Lobodinskaia E.A. Raspoznavanie emotsii v usloviakh stupenchatoi stroboskopicheskoi ekspozitsii vyrazhenii litsa [Recognition of emotions in the conditions of a stepped stroboscopic exposure of facial expressions] // *Eksperimental'naia psikhologiya*, 2018. V. 11. No. 4. Pp. 50-69. doi: 10.17759/exppsy.2018110405 (In Russian)
- Zhukova O.V., Malakhova E.Iu., Shelepin Iu.E. Dzhokonda i neopredelennost' raspoznavaniia ulybki chelovekom i iskusstvennoi neironnoi set'iu [Gioconda and the uncertainty of

- recognition of a smile by a person and an artificial neural network] // Opticheskii zhurnal, 2019. V. 86. No. 11. Pp. 40-50. URL: doi:10.17586/1023-5086-2019-86-11-40-50 (In Russian)
- Zhukova O.V., Shchemeleva O.A. Sootnoshenie vliianiia opticheskikh i akusticheskikh kanalov sviazi na sobesednikov [Correlation of the influence of optical and acoustic communication channels on interlocutors] // Opticheskii zhurnal, 2020. V. 87. No. 10. (In Russian)
- Kempbell F., Shelepin Iu.E. Vozможности foveoly v razlichenii ob"ektov [Possibilities of the foveola in distinguishing objects] // Sensornye sistemy, 1990. V. 4. No. 2. Pp. 181-185. (In Russian)
- Malakhova E.Iu. Vizualizatsiia informatsii, kodiruemoi neuronami vysshikh oblastei zritel'noi sistemy [Visualization of information encoded by neurons of the higher regions of the visual system] // Opticheskii zhurnal, 2018. Pp. 61-66. (In Russian)
- Malakhova E.Iu. Predstavlenie kategorii posredstvom prototipov soglasovannoi aktivnosti neironov v svertochnykh neironnykh setiakh [Representation of categories through prototypes of coordinated neuronal activity in convolutional neural networks] // J. Optical technology, 2021. No. 12. (In Russian)
- Malakhova E.Iu. Prostranstvo opisaniia zritel'noi stseny v iskusstvennykh i biologicheskikh neironnykh setiakh [A space for describing a visual scene in artificial and biological neural networks] // Opticheskii zhurnal, 2020. No. 10. (In Russian)
- Tsvetkov E.A., Krasnoshchekova E.I. Amigdaliarnyi kompleks. Fiziologiya emotsii i pamiati. [Amygdala complex. Physiology of Emotions and Memory]. St. Petersburg, SPSU Publ., 2020. 200 p. (In Russian)
- Shelepin Iu.E. Vvedenie v neuroikoniku [Introduction to neuroiconics]. St. Petersburg, 2017. (In Russian)
- Shelepin Iu.E. Prostranstvenno-chastotnye kharakteristiki retseptivnykh polei neironov lateral'noi suprasil'vievoi oblasti [Spatial-frequency characteristics of the receptive fields of neurons in the lateral suprasylvian region] // Neurofiziologiya, 1982. V. 14. No. 6. Pp. 608-614. (In Russian)
- Shelepin Iu.E. Sopostavlenie topograficheskikh i prostranstvenno-chastotnykh kharakteristik lateral'noi suprasil'vievoi i striarnoi oblastei kory koshki [Comparison of topographic and spatial-frequency characteristics of the lateral suprasylvian and striate cortex of the cat] // Neurofiziologiya, 1984. V. 16. No. 1. Pp. 35-41. (In Russian)
- Shelepin Iu.E. Fil'tratsionnye svoistva retseptivnykh polei neironov zritel'noi kory [Filtration properties of the receptive fields of neurons in the visual cortex] // Doklady Akademii nauk SSSR, 1981 b. V. 261. No. 6. Pp. 1506-1509. (In Russian)
- Shelepin Iu.E., Borachuk O.V., Pronin S.V., Fokin V.A., Kharauzov A.K., Logunova E.V., Vasil'ev P.P. Litso cheloveka i neurofiziologiya neverbal'nykh sredstv kommunikatsii [Human face and neurophysiology of non-verbal means of communication // Litso cheloveka v nauke, iskusstve i praktike [Human face in science, art and practice] / K.I. Anan'eva, V.A. Barabanshchikov, A.A. Demidov. Moscow, Kogito-Tsentr Publ., 2015. Pp. 449-483. (In Russian)
- Shelepin Iu.E., Borachuk O.V., Pronin S.V., Kharauzov A.K., Vasil'ev P.P., Fokin V.A. Litso i neverbal'nye sredstva kommunikatsii [Face and non-verbal means of communication] // Peterburgskii psikhologicheskii zhurnal, 2014. No. 9. Pp. 1-43. (In Russian)

- Shelepin Iu.E., Fokin V.A., Men'shikova S.V., Borachuk O.V., Koskin S.A., Sokolov V.A., Pronin S.V., Kharauzov A.K., Vasil'ev P.P., Vakhrameeva O.A. Metody ikoniki i metody kartirovaniia mozga v otsenke funktsional'nogo sostoianiia zritel'noi sistemy [Methods of iconics and methods of brain mapping in assessing the functional state of the visual system] // *Sensornye sistemy*, 2014. No. 2. (In Russian)
- Shelepin Iu.E., Fokin V.A., Kharauzov A.K., Foreman N., Pronin S.V., Vakhrameeva O.A., Chikhman V.N. Lokalizatsiia metodami neuroikoniki mekhanizmov priniatiia reshenii ob uporiadochennosti tekstur [Localization by neuroiconics methods of decision-making mechanisms about the ordering of textures] // *Opticheskii zhurnal*, 2011. V. 78. Pp. 57-69. (In Russian)
- Shelepin Iu.E.; Kharauzov A.K.; Zhukova O.V.; Pronin S.V.; Kupriianov M.S.; Tsvetkov O.V. Maskirovka i obnaruzhenie skrytykh signalov v dinamicheskikh izobrazheniiakh [Masking and detection of hidden signals in dynamic images] // *Opticheskii zhurnal*, 2020. V. 87. No. 10. Pp. 89-102. (In Russian)
- Shchemeleva O.V., Zhukova O.V., Shelepin Iu.E., Moiseenko G.A., Vasil'ev P.P. Elektrofiziologicheskie pokazateli deiatel'nosti mozga v protsesse verbal'nogo i neverbal'nogo vzaimodeistviia sobesednikov [Electrophysiological indicators of brain activity in the process of verbal and non-verbal interaction of interlocutors] // *Fiziologiya cheloveka*, 2019. V. 45. No. 6. Pp. 16-26. doi: 10.1134/S0131164619060110 (In Russian)
- Adolphs R., Spezio M. Role of the amygdala in processing visual social stimuli // *Prog. Brain Res.*, 2006. V. 156. Pp. 363-78. doi: 10.1016/S0079-6123(06)56020-0
- Aharon I., Etcoff N., Ariely D., Chabris C.F., O'Connor E., Breiter H.C. Beautiful Faces Have Variable Reward Value // *Neuron*, 2001. No. 32(3). Pp. 537-551. doi: 10.1016/s0896-6273(01)00491-3
- Ashley V., Vuilleumier P., Swick D. Time course and specificity of event-related potentials to emotional expressions // *NeuroReport*, 2004. V. 15. Pp. 211-216.
- Bagnis A., Celeghin A., Diano M., Mendez C.A., Spadaro G., Mosso C.O., Avenanti A., Tamietto M. Functional neuroanatomy of racial categorization from visual perception: A meta-analytic study // *Neuroimage*, 2020. V. 217. doi: 10.1016/j.neuroimage.2020.116939
- Balconi M., Fronda G. The Use of Hyperscanning to Investigate the Role of Social, Affective, and Informative Gestures in Non-Verbal Communication. Electrophysiological (EEG) and Inter-Brain Connectivity Evidence // *Brain Sciences*, 2020. V. 10. No. 29. URL: <https://doi.org/10.3390/brainsci10010029>
- Balconi M., Lucchiari C. Consciousness, emotion and face: An event-related potentials (ERP) study. John Benjamin, 2005.
- Balconi M., Pozzoli U. Face-selective processing and the effect of pleasant and unpleasant emotional expression on ERP correlates // *International Journal of Psychophysiology*, 2003. V. 49. Pp. 67-74.
- Bast T., Zhang W.-N., Feldon J. Hippocampus and classical fear conditioning // *Hippocampus*, 2001. No. 11(6). Pp. 828-831. doi:10.1002/hipo.1098
- Bennett D.S., Bendersky M., Lewis M. Facial Expressivity at 4 Months: A Context by Expression Analysis // *Infancy*, 2002. No. 3(1)ю 33ю 97-113. doi: 10.1207/S15327078IN0301\_5
- Bentin S., Allison T., Puce A., Perez E., McCarthy G. Electrophysiological studies of face perception in humans // *Journal of Cognitive Neuroscience* 1996. V. 8(6). Pp. 551-565.

- Bentin S., Carmel D. Accounts for the N170 face-effect: A reply to Rossion, Curran, Gauthier // *Cognition*, 2002. V. 85. Pp. 197-202.
- Blakemore C., Campbell F.W. On the existence of neurones in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images // *The Journal of Physiology*, 1969. V. 203(1). Pp. 237-60. doi: 10.1113/jphysiol.1969.sp008862
- Blakemore C., Cooper G.F. Modification of the visual cortex by experience // *Brain Research*, 1971. Vol. 31. Is. 2. P. 366. doi: 10.1016/0006-8993(71)90193-4
- Byatt G., Rhodes G. Identification of own-race and other-race faces: Implications for the representation of race in face space // *Psychonomic Bulletin & Review*, 2004. No. 11(4). Pp. 735-741. doi:10.3758/bf03196628
- Bzdok D., Laird A.R., Zilles K., Fox P.T., Eickhoff S.B. An investigation of the structural, connectional, and functional subspecialization in the human amygdala // *Hum Brain Mapping*, 2013. No. 34(12). Pp. 3247-3266. doi: 10.1002/hbm.22138
- Caharel S., Montalan B., Fromager E., Bernard C., Lalonde R., Mohamed R. Other-race and inversion effects during the structural encoding stage of face processing in a race categorization task: An event-related brain potential study // *International Journal of Psychophysiology*, 2011. V. 79(2). Pp. 266-271. doi:10.1016/j.ijpsycho.2010.10.01
- Calder A.J., Young A.W. Understanding the recognition of facial identity and facial expression // *Nat Rev Neurosci*, 2005. No. 6(8). Pp. 641-651. doi: 10.1038/nrn1724
- Campanella S., Gaspard C., Debatisse D., Bruyer R., Crommelinck M., Guérit J.M., Discrimination of emotional facial expressions in a visual oddball task: an ERP study // *Biol. Psychol.*, 2002. V. 59. Pp. 171-186.
- Camras L.A., Oster H., Bakeman R., Meng Z., Ujiie T., Campos J.J.. Do Infants Show Distinct Negative Facial Expressions for Fear and Anger? Emotional Expression in 11-Month-Old European American, Chinese, and Japanese Infants // *Infancy*, 2007. No. 11. Pp. 131-155.
- Cheng K., Saleem K.S., Tanaka K. PHA-L study of the subcortical projections of the macaque inferotemporal cortex // *Soc. Neurosci. Abstr.*, 1993. No. 19. P. 971.
- Chung J.M., Robins R.W. Exploring Cultural Differences in the Recognition of the Self-Conscious Emotions // *PLoS One*, 2015. V. 26. No. 10(8): e0136411. doi:10.1371/journal.pone.0136411
- Corrow S.L., Dalrymple K.A., Barton J.J. Prosopagnosia: current perspectives // *Eye Brain*, 2016. V. 26. Is. 8. Pp. 165-175. doi: 10.2147/EB.S92838
- Crivelli C., Fridlund A.J. Inside-Out: From Basic Emotions Theory to the Behavioral Ecology View // *Journal of Nonverbal Behavior*, 2019. V. 43(2). Pp. 161-194. doi:10.1007/s10919-019-00294-2
- de Gelder B., Vroomen J., Pourtois G., Weiskrantz L. Non-conscious recognition of affect in the absence of striate cortex // *Neuroreport*, 1999. V. 16. Is. 10(18). Pp. 3759-3763. doi: 10.1097/00001756-199912160-00007
- Dean P. Effects of inferotemporal lesions on the behavior of monkeys // *Psychol Bull.*, 1976. V. 83. Pp. 41-71.
- Di Pellegrino G., Fadiga L., Fogassi L., Gallese V., Rizzolatti G. Understanding motor events: a neurophysiological study // *Exp. Brain Res.*, 1992. V. 91. Pp. 176-180.
- Duane T.D., Behrendt T. Extrasensory electroencephalographic induction between identical twins // *Science*, 1965. V. 150. P. 367.

- Eimer M., Holmes A. An ERP study on the time course of emotional face processing // *NeuroReport*, 2002. V. 13. Pp. 427-431.
- Ekman P., Friesen W.V. Constants across cultures in the face and emotion // *Journal of Personality and Social Psychology*, 1971. V. 17(2). Pp. 124-129. doi:10.1037/h0030377
- Farah M.J., Wilson K.D., Drain M., Tanaka J.N. What is «special» about face perception? // *Psychological Review*, 1998. V. 105. Is. 3. Pp. 482-498.
- Fujita I., Tanaka K., Ito M., Cheng K. Columns for visual features of objects in monkey inferotemporal cortex // *Nature*, 1992. V. 360. Pp. 343-346.
- Furl N., Henson R.N., Friston K.J., Calder A.J. Network Interactions Explain Sensitivity to Dynamic Faces in the Superior Temporal Sulcus // *Cerebral Cortex*, 2015. V. 25. Is. 9. Pp. 2876-2882. doi.org/10.1093/cercor/bhu083
- Gallese V., Fadiga L., Fogassi L., Rizzolatti G. Action recognition in the premotor cortex // *Brain*, 1996. V. 119. Pp. 593-609.
- Gallese V., Keysers C., Rizzolatti G. A unifying view of the basis of social cognition // *Trends Cogn Sci.*, 2004. V. 8. Pp. 396-403.
- Garrido Zinn C., Clairis N., Silva Cavalcante L.E., Furini C.R., de Carvalho Myskiw J., Izquierdo I. Major neurotransmitter systems in dorsal hippocampus and basolateral amygdala control social recognition memory // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2016. V. 113(33): E4914-9. doi: 10.1073/pnas.1609883113
- Glezer V.D. Vision and Mind // *Nauka*, Leningrad, 1985.
- Glezer V.D., Yakovlev V.V., Gauselman V.E. Harmonic basis function for spatial coding in the cat striate cortex // *Visual Neurosci.*, 1989. V. 3. Pp. 351-383.
- Gochin P.M., Miller E.K., Gross C.G., Gerstein G.L. Functional interactions among neurons in Macaque inferior temporal cortex // *Exp. Brain Res.*, 1991. V. 84. Pp. 505-516.
- Grebelsky-Lichtman T. Verbal versus nonverbal primacy: Children's response to parental incongruent communication // *Journal of Social and Personal Relationships*, 2017. V. 34(5). Pp. 636-661. doi:10.1177/0265407516651158
- Grill-Spector K., Weiner K.S., Kay K., Gomez J. The Functional Neuroanatomy of Human Face Perception // *Annu. Rev. Vis. Sci.*, 2017. No. 3. Pp. 167-196. doi: 10.1146/annurev-vision-102016-061214
- Grimshaw G.M., Carmel D. An asymmetric inhibition model of hemispheric differences in emotional processing // *Front. Psychol.*, 2014. No. 5. P. 489. doi: 10.3389/fpsyg.2014
- Grimshaw G.M., Foster J.J., Corballis P.M. Frontal and parietal EEG asymmetries interact to predict attentional bias to threat // *Brain Cogn.*, 2014. V. 90. Pp. 76-86. doi: 10.1016/j.bandc.2014.06.008
- Gross C.G. Visual Function of Inferotemporal Cortex // *Handbook of Sensory Physiology* / Ed. by R. Jung Berlin, Springer-Verlag., 1973. Pp. 451-482.
- Gross C.G., Sergent J. Face recognition // *Current pinion in Neurobiology*, 1992. Pp. 156-161.
- Gross. C.G. Visual functions of inferotemporal cortex // *Handbook of Sensory Physiology* / Ed. by R. Jung. Berlin, Springer, 1972. V. 7. Part 3.
- Hall J.A., Horgan T.G., Murphy N.A. Nonverbal Communication // *Annual Review of Psychology*, 2018. V. 70(1). doi: 10.1146/annurev-psych-010418-103145
- Haxby J., Gobbini M. Distributed neural systems for face perception // *The Oxford handbook of face perception* / Ed. by A. Calder. UK, Oxford Univ. Press., 2011. Pp. 93-110.

- Haxby J.V., Hoffman E.A., Gobbini M.I. Distributed human neural systems for face perception // Trends Cogn. Sci., 2000. V. 4. Pp. 223-233.
- Holmes E.J., Gross C.G. Effects of inferior temporal lesions on discrimination of stimuli differing in orientation // The Journal of Neuroscience, 1984. V. 4. No. 12. Pp. 3063-3068.
- Iacoboni M. Neural mechanisms of imitation // Curr. Opin. Neurobiol., 2005. V. 15. P. 632-637.
- Ishai A. Let's face it: it's a cortical network // Neuroimage, 2008. V. 40. Pp. 415-419.
- Iwai E., Yukie M. Amygdalofugal and amygdalopetal connections with modality specific visual cortical areas in macaques (*Macaca fuscata*, *M. mulatta*, and *M. fascicularis*) // J. Comp. Neurol., 1987. V. 261. Pp. 362-387.
- Iwai E., Mishkin M. Further evidence on the locus of the visual area in the temporal lobe of the monkey // Exp. Neurol., 1969. V. 25. Pp. 585-594.
- Janak P.H., Tye K.M. From circuits to behaviour in the amygdala // Nature, 2015. V. 517(7534). Pp. 284-292. doi: 10.1038/nature14188
- Kandel E., Schwartz J., Jessell T. Principles of Neural Science. New York, McGraw-Hill, 2000.
- Kedo O., Zilles K., Palomero-Gallagher N., Schleicher A., Mohlberg H., Bludau S., Amunts K. Receptor-driven, multimodal mapping of the human amygdala // Brain Struct Funct., 2018. V. 223(4). Pp. 1637-1666. doi: 10.1007/s00429-017-1577-x
- Kesler-West M.L., Andersen A.H., Smith C.D., Avison M.J., Davis C.E., Kryscio R.J., Blonder L.X. Neural substrates of facial emotion processing using fMRI // Cogn. Brain Res., 2001. V. 11(2). Pp. 213-226. doi: 10.1016/s0926-6410(00)00073-2
- Keysers C., Perrett D.I. Demystifying social cognition: A Hebbian perspective // Trend Cogn. Sci., 2004. V. 8. Pp. 501-507.
- Kim H., Somerville L.H., Johnstone T., Alexander A.L., Whalen P.J. Inverse amygdala and medial prefrontal cortex responses to surprised faces // Neuroreport, 2003. V. 14(18). Pp. 2317-2322. doi: 10.1097/00001756-200312190-00006
- Kinnavane L., Amin E., Olarte-Sánchez C.M., Aggleton J.P. Detecting and discriminating novel objects: The impact of perirhinal cortex disconnection on hippocampal activity patterns // Hippocampus, 2016. V. 26(11). Pp. 1393-1413. doi:10.1002/hipo.22615
- Kinoshita T., Tanaka H., Yoshino K., Nakamura S. Measuring Affective Sharing between Two People by EEG Hyperscanning // ICMI '19 Adjunct: Adjunct of the 2019 International Conference on Multimodal Interaction, 2019.
- Kjaer T.W., Nowak M., Lou H.C. Reflective self-awareness and conscious states: PET evidence for a common midline parietofrontal core // Neuroimage, 2002. V. 17(2). Pp. 1080-1086
- Kobatake E., Tanaka K. Neuronal selectivities to complex object features in the ventral visual pathway of the macaque cerebral cortex // J. Neurophysiol., 1994. V. 71. Pp. 856-867.
- Konorski J. Integrative Activity of the Brain. Chicago, Univ. of Chicago Press, 1967.
- Lee K.U., Khang H.S., Kim K.T., Kim Y.J., Kweon Y.S., Shin Y.W., Kwon J.S., Ho S.H., Garfinkel S.N., Chae J.H., Liberzon I. Distinct processing of facial emotion of own-race versus other-race // Neuroreport, 2008. V. 19(10). Pp. 1021-1025. doi: 10.1097/WNR.0b013e3283052df2
- Leong V., Byrne E., Clackson K., Georgieva S., Lam S., Wass S. Speaker gaze increases information coupling between infant and adult brains // Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2017. V. 114(50). Pp. 13290-13295. doi:10.1073/pnas.1702493114
- Lewis J.W., Phinney R.E., Brefczynski J.A., DeYoe E.A. Lefties get it "right" when hearing tool sounds // J. Cogn. Neurosci., 2006. V. 18. Pp. 1314-1330.

- Lim S.L., Padmala S., Pessoa L. Segregating the significant from the mundane on a moment-to-moment basis via direct and indirect amygdala contributions // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2009. V. 106(39). Pp. 16841-16846. doi: 10.1073/pnas.0904551106
- Liu Y., Piazza E.A., Simony E., Shewokis P.A., Onaral B., Hasson U., Ayaz H. Measuring speaker-listener neural coupling with functional near infrared spectroscopy // *Sci. Rep.*, 2017. V. 7. P. 43293. doi: 10.1038/srep43293
- Logothetis N.K., Sheinberg D.L. Visual object recognition // *Annu. Rev. Neurosci.*, 1996. V. 19. Pp. 577-621.
- Mazaheri A., van Schouwenburg M., Dimitrijevic A., Denys D., Cools R., Jensen O. Region specific modulations in oscillatory alpha activity serves to facilitate processing in the visual and auditory modalities // *Neuroimage*, 2014. V. 87. Pp. 356-362. doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.10.052
- Montague P.R., Berns G.S., Cohen J.D., McClure S.M., Pagnoni G., Dhamala M. Hyperscanning: simultaneous fMRI during linked social interactions // *Neuroimage*, 2002. V. 16(4). Pp. 1159-1164.
- Moody R. Testing the Asymmetric Inhibition Model: Frontal EEG Asymmetry Does Not Predict Inhibitory Control of Emotional Distractors, 2016. URL: <http://hdl.handle.net/10063/5423>
- Nakamura H., Gattass R., Desimone R., Ungerleider L.G. The modular organization of projections from areas V1 and V2 to areas V4 and TEO in macaques // *J. Neurosci.*, 1993. V. 13. Pp. 3681-3691.
- Nam Y., Sato T., Uchida G., Malakhova E., Ullman S., Tanifuji M. View-tuned and view-invariant face encoding in IT cortex is explained by selected natural image fragments // *Sci. Rep.*, 2021. V. 11. doi.org/10.1038/s41598-021-86842-7
- Niedenthal P.M. Embodying emotion // *Science*, 2007. V. 316. Pp. 1002-1005.
- Otten M., Banaji M.R. Social categories shape the neural representation of emotion: evidence from a visual face adaptation task // *Front. Integr. Neurosci.*, 2012. V. 6. doi: 10.3389/fnint.2012.00009
- Palmiero M., Piccardi L. Frontal EEG asymmetry of mood: a mini-review // *Front. Behav. Neurosci.*, 2017. V. 11. doi: 10.3389/fnbeh.2017.00224
- Park Y.S., Sammartino F., Young N.A., Corrigan J., Krishna V., Rezai A.R. Anatomical review of the ventral capsule/ventral striatum and the nucleus accumbens to guide target selection for deep brain stimulation for obsessive-compulsive disorder // *World Neurosurgery*, 2019. doi:10.1016/j.wneu.2019.01.254
- Perrett D.I., Rolls E.T., Caan W. Visual neurones responsive to faces in the monkey temporal cortex // *Exp. Brain. Res.*, 1982. V. 47(3). Pp. 329-342.
- Perrett D.I., Smith P.A., Mistlin A.J., Chitty A.J., Head A.S., Potter D.D., Broennimann R., Milner A.D., Jeeves M.A. Visual analysis of body movements by neurones in the temporal cortex of the macaque monkey: a preliminary report // *Behav. Brain. Res.*, 1985. V. 16(2-3). Pp. 153-170.
- Pitcher D., Walsh V., Duchaine B. The role of the occipital face area in the cortical face perception Network // *Exp. Brain. Res.*, 2011. V. 209. Pp. 481-493. doi: 10.1007/s00221-011-2579-1123
- Podvigina D.N., Prokopenya V.C. Role of familiarity in recognizing faces and words: an EEG study // *Sovremennye tehnologii v medicine*, 2019. V. 11(1). Pp. 76-83. URL: <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.1.09>

- Posani L., Cocco S., Monasson R. Integration and multiplexing of positional and contextual information by the hippocampal network // *PLoS Comput. Biol.*, 2018. V. 14(8): e1006320. doi: 10.1371/journal.pcbi.1006320
- Price J.L., Amaral D.G. An autoradiographic study of the projections of the central nucleus of the monkey amygdala // *J. Neurosci.*, 1981. V. 1(11). Pp. 1242-1259. doi: 10.1523/JNEUROSCI.01-11-01242.1981
- Riedl V., Utz L., Castrillón G., Grimmer T., Rauschecker J.P., Ploner M., Friston K.J., Drzezga A., Sorg Chr. Metabolic connectivity mapping reveals effective connectivity in the resting human brain // *PNAS*, 2016. V. 113(2). Pp. 428-433. doi: 10.1073/pnas.1513752113
- Riesenhuber M., Poggio T. Hierarchical models of object recognition in cortex // *Nat. Neurosci.*, 1999. No. 2. Pp. 1019-1025.
- Rizzolatti G., Craighero L. The mirror-neuron system // *Annu. Rev. Neurosci.*, 2004. V. 27. Pp. 169-192.
- Rizzolatti G., Fogassi L., Gallese V. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action // *Nat. Rev. Neurosci.*, 2001. V. 2. Pp. 661-670.
- Rizzolatti G., Sinigaglia C. Further reflections on how we interpret the actions of other // *Nature*, 2008. V. 455. P. 589.
- Rolls E.T. Neurophysiological mechanisms underlying face processing within and beyond the temporal cortical visual areas // *Philos. Trans. R. Soc. Lond. (Biol.)*, 1992. V. 335. Pp. 11-21.
- Rolls E.T., Baylis G.C., Hasselmo M.E. The responses of neurons in the cortex in the superior temporal sulcus of the monkey to band-pass spatial frequency filtered faces // *Vision Research*, 1987. V. 27. Pp. 311-326.
- Rolls E.T., Baylis G.G. Size and contrast have only small effects on the responses to faces of neurons in the cortex of the superior temporal sulcus of the monkey // *Experimental Brain Research*, 1986. Pp. 38-48.
- Roy A.K., Shehzad Z., Margulies D.S., Kelly A.M., Uddin L.Q., Gotimer K., Biswal B.B., Castellanos F.X., Milham M.P. Functional connectivity of the human amygdala using resting state fMRI // *Neuroimage*, 2009. V. 45(2). Pp. 614-626. doi: 10.1016/j.neuroimage.2008.11.030
- Russell J.A., Dols J.M.F. The Science of Facial Expression. Published to Oxford Scholarship Online, 2017. doi: 10.1093/acprof:oso/9780190613501.001.0001
- Saleem K.S., Tanaka K., Rockland K.S. Specific and columnar projection from area TEO to TE in the macaque inferotemporal cortex // *Cereb. Cortex*, 1993b. V. 3. Pp. 454-464.
- Salgado S., Kaplitt M. G. The Nucleus Accumbens: A Comprehensive Review // *Stereotactic and Functional Neurosurgery*, 2015. V. 93(2). Pp. 75-93. doi: 10.1159/000368279
- Sarkheil P., Goebel R., Schneider F., Mathiak K. Emotion unfolded by motion: a role for parietal lobe in decoding dynamic facial expressions // *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.*, 2013. V. 8. Pp. 950-957. doi: 10.1093/scan/nss092
- Satterthwaite T.D., Wolf D.H., Pinkham A.E., Ruparel K., Elliott M.A., Valdez J.N., Overton E., Seubert J., Gur R.E., Gur R.C., Loughhead J. Opposing amygdala and ventral striatum connectivity during emotion identification // *Brain. Cogn.*, 2011. V. 76(3). Pp. 353-363. doi: 10.1016/j.bandc.2011.04.005

- Schupp H.T., Ohman A., Junghofer M., Weike A.I., Stockburger J., Hamm A.O. The facilitated processing of threatening faces: an ERP analysis // *Emotion*, 2004b. V. 4. Pp. 189-200.
- Schwartz E.L., Desimone R., Albright T.D., Gross C.G. Shape recognition and inferior temporal neurons // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1983. V. 80. Pp. 5776-5778.
- Shelepin K.Yu., Trufanov G.E., Fokin V.A., Vasil'ev P.P., Sokolov A.V. Digital visualization of the activity of neural networks of the human brain before, during, and after insight when images are being recognized // *Journal of Optical Technology*, 2018. V. 85. Is. 8. Pp. 468-475. doi.org/10.1364/JOT.85.000468
- Smith C.N., Jeneson A., Frascino J.C., Kirwan C.B., Hopkins R.O., Squire L.R. When recognition memory is independent of hippocampal function // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014. V. 111(27). Pp. 9935-9940. doi: 10.1073/pnas.1409878111
- Solano-Castiella E., Anwender A., Lohmann G., Weiss M., Docherty C., Geyer S., Reimer E., Friederici A.D., Turner R. Diffusion tensor imaging segments the human amygdala in vivo // *Neuroimage*, 2010. V. 49(4). Pp. 2958-2965. doi: 10.1016/j.neuroimage.2009.11.027
- Suzuki W.A., Amaral D.G. Perirhinal and parahippocampal cortices of the macaque monkey: cortical afferents // *J. Comp. Neurol.*, 1994. V. 350. Pp. 497-533.
- Tamietto M., de Gelder B. Neural bases of the non-conscious perception of emotional signals. *Nat Rev. Neurosci.*, 2010. V. 11. Pp. 697-709. doi.org/10.1038/nrn2889
- Tanaka J.W., Sengco J.A. Features and their configuration in face recognition // *Memory and Cognition*, 1997. V. 25. Pp. 583-592.
- Tanaka K. Columns for Complex Visual Object Features in the Inferotemporal Cortex: Clustering of Cells with Similar but Slightly Different Stimulus Selectivities // *Cerebral Cortex*, 2003. V. 13. Pp. 90-99.
- Tanaka K. Inferotemporal cortex and object vision // *Annual Review of Neuroscience*, 1996. V. 19. Pp. 109-139.
- Tanaka K. Neuronal mechanism of object recognition // *Science*, 1993. V. 262. Pp. 685-688.
- Tanaka K., Saito H., Fukada Y., Moriya M. Coding visual images of objects in the inferotemporal cortex of the macaque monkey // *J. Neurophysiol.*, 1991. V. 66. No. 1. Pp. 170-189.
- Tettamanti M., Rognoni E., Cafiero R., Costa T., Galati D., Perani D. Distinct pathways of neural coupling for different basic emotions // *Neuroimage*, 2012. V. 59(2). Pp. 1804-1817. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.08.018
- Tsuchiya N., Kawasaki H., Oya H., Howard M.A.3rd, Adolphs R. Decoding face information in time, frequency and space from direct intracranial recordings of the human brain // *PLoS One*, 2008. V. 3(12): e3892. doi: 10.1371/journal.pone.0003892
- Tsunoda K., Yamane Y., Nishizaki M., Tanifuji M. Complex objects are represented in macaque inferotemporal cortex by the combination of feature columns // *Nat. Neurosci.*, 2001. V. 4. No. 8. Pp. 832-838.
- Ungerleider E., Gaffan D., Pelak V.S. Projections from inferior temporal cortex to prefrontal cortex via the uncinate fascicle in rhesus monkeys // *Exp. Brain Res.*, 1989. V. 76. Pp. 473-484.
- Valente D., Theurel A., Gentaz E. The role of visual experience in the production of emotional facial expressions by blind people: a review // *Psychon. Bull. Rev.*, 2018. V. 25. Pp. 483-497. doi.org/10.3758/s13423-017-1338-0

- Vizioli L., Rousselet G.A., Caldara R. Neural repetition suppression to identity is abolished by other-race faces // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2010. V. 107(46). Pp. 20081-20086. doi: 10.1073/pnas.1005751107
- Vogel M., Monesson A., Scott L.S. Building biases in infancy: the influence of race on face and voice emotion matching // *Dev. Sci.*, 2012. V. 15(3). Pp. 359-372. doi: 10.1111/j.1467-7687.2012.01138.x
- Vossel S., Geng J.J., Fink G.R. Dorsal and ventral attention systems: distinct neural circuits but collaborative roles // *Neuroscientist*, 2014. V. 20. Pp. 150-159. doi: 10.1177/1073858413494269
- Walker M.B., Trimboli A. Communicating Affect: The Role of Verbal and Nonverbal Content // *Journal of Language and Social Psychology*, 1989. V. 8(3-4). Pp. 229-248. doi: 10.1177/0261927X8983005
- Wang G., Tanaka K., Tanifuji M. Optical imaging of functional organization in the monkey inferotemporal cortex // *Science*, 1996. V. 272. Pp. 1665-1668.
- Zhukova O.V., Shelepin Yu.E., Maksimova V.A., Vasil'ev P.P., Vershinina E.A., Fokin V.A., Sokolov A.V. Deciding on the minimum changes in images of a human face under conditions of indeterminacy // *Journal of Optical Technology*, 2016. V. 83. Is. 12. Pp. 753-759.
- Zhukova O.V., Shelepin Yu.E., Shchemeleva O.V., Vasil'ev P.P., Moiseenko G.A. Influence of verbal and nonverbal signals on an interlocutor's electroencephalogram // *Journal of Optical Technology*, 2018. V. 85. Is. 8. Pp. 455-462.