



Check for updates

Обзоры

УДК 612.84 + 612.78

EDN VFUDVV

<https://doi.org/10.33910/2687-1270-2024-5-2-107-129>

## Концепция двойной дихотомии мозга В. Д. Глезера и ее развитие: системы «Что?» и «Где?», межполушарная асимметрия, «схема тела», принципы кодирования, речь, правила и креативность

Е. В. Боброва <sup>✉1</sup>

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

### Сведения об авторе

Боброва Елена Вадимовна, SPIN-код: 8631-0710, e-mail: [eabobrovya@gmail.com](mailto:eabobrovya@gmail.com)

**Для цитирования:** Боброва, Е. В. (2024) Концепция двойной дихотомии мозга В. Д. Глезера и ее развитие: системы «Что?» и «Где?», межполушарная асимметрия, «схема тела», принципы кодирования, речь, правила и креативность. *Интегративная физиология*, т. 5, № 2, с. 107–129. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2024-5-2-107-129> EDN VFUDVV

**Получена** 19 июля 2024; прошла рецензирование 9 октября 2024; принята 10 октября 2024.

**Финансирование:** Работа поддержана средствами федерального бюджета в рамках государственного задания ФГБУН Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН (№ 1021062411782-5-3.1.8).

**Права:** © Е. В. Боброва (2024). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

**Аннотация.** Концепция двойной дихотомии мозга была сформулирована профессором В. Д. Глезером около 40 лет назад в его книге «Зрение и мышление» (1985) для описания способов обработки информации в зрительном мозге. В основе концепции лежит представление о существовании двух основных каналов обработки зрительной информации — информации о форме и информации о положении в пространстве (системы «Что?» и «Где?», локализованные, соответственно, в нижневисочной и заднетеменной коре головного мозга (первая дихотомия), которые функционируют по-разному в правом и левом полушарии головного мозга (вторая дихотомия). Такой способ анализа информации, как было показано в более поздних исследованиях, специфичен не только для зрения, но и характерен для остальных ведущих сенсорных модальностей. Этот способ проявляется также при функционировании системы зеркальных нейронов, обеспечивающей имитацию систем принятия решения и регуляции сценариев действий в префронтальной коре, а также в системе управления вниманием. Таким образом, современные данные свидетельствуют в пользу представлений о том, что концепция двойной дихотомии — это принцип работы мозга, описывающий основные пути обработки информации в коре больших полушарий головного мозга человека.

**Ключевые слова:** двойная дихотомия, зрение, системы «Что?» «Где?» «Как?», «схема тела», межполушарная асимметрия, принципы кодирования, речь, сценарии

# V. D. Glezer's double dichotomy of the brain: 'What?' and 'where?' systems, hemispheric asymmetry, 'body schema', coding principles, speech, rules, and creativity

E. V. Bobrova <sup>1</sup>

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

## Author

Elena V. Bobrova, SPIN: 8631-0710, e-mail: eabobrov@gmail.com

**For citation:** Bobrova, E. V. (2024) V. D. Glezer's double dichotomy of the brain: 'What?' and 'where?' systems, hemispheric asymmetry, 'body schema', coding principles, speech, rules, and creativity. *Integrative Physiology*, vol. 5, no. 2, pp. 107–129. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2024-5-2-107-129> EDN VFUDVV

**Received** 19 July 2024; reviewed 9 October 2024; accepted 10 October 2024.

**Funding:** The study was supported by the State funding allocated to the Pavlov Institute of Physiology Russian Academy of Sciences (№ 1021062411782-5-3.1.8).

**Copyright:** © E. V. Bobrova (2024). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under CC BY-NC License 4.0.

**Abstract.** The concept of the double dichotomy of the brain, proposed by Professor V. D. Glezer in his 1985 book *Vision and Mind*, offers a framework for understanding how the visual brain processes information. His theory posits two primary channels for processing visual data: one for encoding the information about an object's shape (the 'what?' system) and another for encoding the information about an object's position in space (the 'where?' system). These channels are localized in the inferior temporal cortex and posterior parietal cortex, respectively, forming the first dichotomy. The second dichotomy is based on the functional differences in processing visual information between the two cerebral hemispheres. Later research showed that this dichotomous processing is not exclusive to the visual system but extends to other sensory modalities as well. It also underlies the functioning of mirror neuron systems involved in imitation, decision-making networks, and action regulation in the prefrontal cortex, as well as in attention control. Current evidence supports the notion that the double dichotomy is a fundamental principle of brain organization, describing key pathways for information processing within the human cerebral cortex.

**Keywords:** double dichotomy, vision, 'what?'; 'where' and 'how?' systems, 'body schema', hemispheric asymmetry, coding principles, speech, scenarios

## Концепция двойной дихотомии мозга

Концепция двойной дихотомии мозга была сформулирована В. Д. Глезером в его книге «Зрение и мышление» (Глезер 1985, 1993; Glezer 1995) на основании анализа данных, полученных в возглавляемой им лаборатории физиологии зрения Института физиологии им. И. П. Павлова, а также широкого круга клинических, нейро- и психофизиологических исследований второй половины XX века. В этой книге анализируется «функциональная организация нейронных структур, последовательно формирующих универсальные категории из “сырого” сенсорного материала. На высших уровнях работы мозга эти универсалии соответствуют основным категориям мышления и языка» (Glezer 1995). Как писал В. Д. Глезер, эта книга, «написанная для широкого круга исследователей в дисциплинах,

связанных с различными аспектами функционирования мозга, — физиологов и психологов, <...> также важна для инженеров и математиков, работающих над проблемами искусственного интеллекта, <...> лингвистов и философов, интересующихся глубинными структурами, которые формируют универсалии мышления и языка» (Glezer 1995).

Суть концепции двойной дихотомии мозга состоит в представлении о различных способах кодирования зрительной информации в нижневисочной и заднетеменной коре правого и левого полушария. Описания зрительной информации, обеспечиваемые этими четырьмя структурами, формируют целостное описание зрительной сцены.

Зрительная информация, первично обработанная сетчаткой и подкорковыми структурами зрительной системы, анализируется в первичных

проекционных зонах затылочной коры и затем разделяется на два потока, заканчивающиеся в нижневисочной и заднетеменной коре (рис. 1). Нижневисочная кора специализируется на анализе формы зрительных объектов, заднетеменная — на анализе пространственных отношений. В англоязычной литературе эти пути обработки зрительной информации описываются как вентральный и дорзальный потоки обработки зрительной информации — системы «Что?» и «Где?» (Mishkin et al. 1983). Это первая из дихотомий в «двойной дихотомии» В. Д. Глезера.

Для понимания механизма взаимодействия двух типов информации о зрительном мире, вычленяемых системами (каналами) «Что?» и «Где?», В. Д. Глезером была предложена концепция фреймов М. Минского (Глезер 1985; Минский 1978). Фреймы могут описывать пространственные, временные, качественные или абстрактные отношения (выше, раньше, светлее, умнее). Например, фрейм, обеспечивающий описание пространственных взаимоотношений между различными вертикальными объектами, может быть использован для описания леса, поля с высокой травой или колосьями, ограды в виде решетки, группы людей и т. д. Фрейм определяет пространственные схемы, «рамки», шаблоны (описывается каналом «Где?»), а ячейки фрейма могут быть заполнены разными объектами или частями объекта (описанными

в результате функционирования канала «Что?»). При этом обработка зрительной информации системами «Что?» и «Где?» происходит по-разному в правом и левом полушарии (вторая дихотомия) (рис. 2). Как пишет В. Д. Глезер (Глезер 1985), «правое полушарие склеивает из подобразов, запоминаемых правым виском, кодовые описания объектов с помощью пространственных операторов или пространственных схем (фреймов), хранящихся в теменной коре. Совместный код подобразов и фрейма в правом полушарии дает описание изображения. Оно неинвариантно. Выгода... один и тот же набор пространственных операторов (фреймов) может описывать разные изображения <...> главное преимущество — кодировать новые <...> изображения». Таким образом, правое полушарие создает конкретное описание зрительного образа, причем описание этого образа в разных ракурсах будет отличаться (описание неинвариантно). Такой способ обработки информации дает возможность для обучения восприятию новых образов и соответствует представлениям о роли правого полушария в обучении (Боброва 2007; Боброва и др. 2010; 2011; 2012; 2015a; 2015b; Ляховецкий, Боброва 2009; Ляховецкий и др. 2012; 2015; Bagesteiro, Sainburg 2003; Jager, Postma 2003; Halsband, Lange 2006; Serrien et al. 2007). В левом же полушарии код образа создается только благодаря функционированию нижневисочной

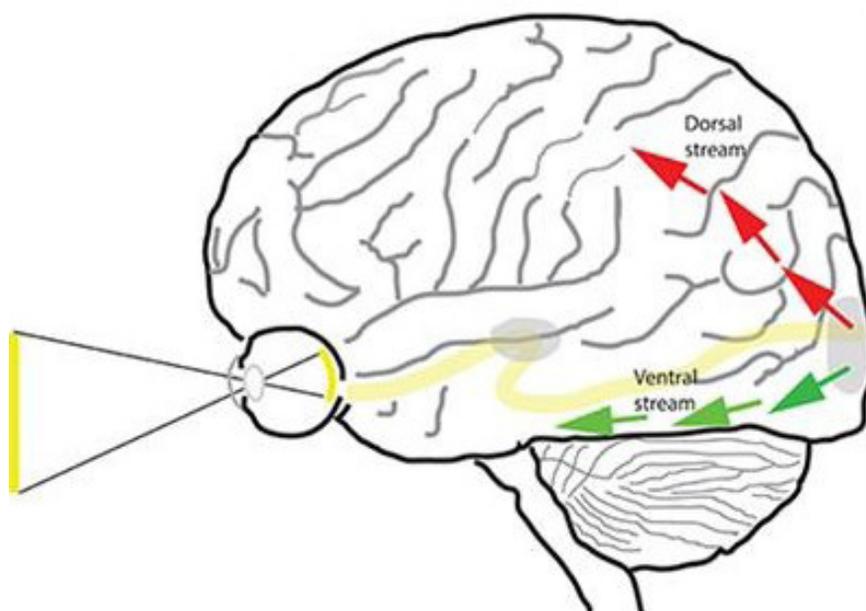


Рис. 1. Дорзальный (красные стрелки) и вентральный (зеленые стрелки) потоки в зрительной системе (Sheth, Young 2016)

Fig. 1. Dorsal (red arrows) and ventral (green arrows) streams in the visual system (Sheth, Young 2016)

### Левое полушарие

#### Система «Где?»

Задне-теменная кора:  
Пространственные  
отношения:

ближе-дальше, справа-  
слева

#### Система «Что?»

Нижневисочная кора:  
Объект - дерево



Описание Лпш

Одно дерево  
дальше другого

### Left hemishere

#### The "Where?" system

Posterior-parietal cortex:  
Spatial relationships:

closer-further,  
right - left

#### The "What?" system

Mandibular cortex:  
Object - tree



Description lhs

One tree farther  
than the other

Рис. 2. Схематическое изображение концепции двойной дихотомии. Пояснения в тексте

Fig. 2. Schematic representation of the double dichotomy framework. See text for explanations

коры (система «Что?»), в то время как задне-теменная кора (система «Где?») обеспечивает описание пространственных отношений между образами, описанными системой «Что?» (рис. 2). Использование фреймов для описания взаимоотношений не только предметов и явлений внешнего мира, но и абстракций внутреннего мира, является, согласно представлениям В. Д. Глезера, базисом для мышления (Глезер 1985).

Более поздние исследования показали, что разделение первичной сенсорной информации на каналы «Что?» и «Где?», или вентральный и дорзальный потоки, свойственно также слуховой (Barrett, Hall 2006) и соматосенсорной системе (Reed et al. 2005), а также системе зеркальных нейронов, обеспечивающей механизмы имитации (Iacoboni 2005), и системе регуляции внимания (Vossel et al. 2014), в которых также информация обрабатывается специфично в правом и левом полушарии, и, следовательно, принцип двойной дихотомии актуален и в этих случаях. Ниже будут рассмотрены другие аспекты работы мозга, функционирование которых, как представляется вероятным, также соответствует представлениям о двойной дихотомии и развивает эту концепцию.

### «Схема тела» — правое полушарие, «Словарь» и «Грамматика» — левое полушарие

Механизм, устанавливающий отношения между предметами и явлениями внешнего мира, описываемый концепцией двойной дихотомии, может быть использован, по-видимому, и для установления отношений между различными частями тела и лежит в основе феномена «схемы тела». При формировании внутренней модели «схемы тела» ячейки фрейма могут заполняться комбинированной информацией от мышечных, суставных и кожных афферентов, несущих информацию о состоянии и положении различных частей тела (рис. 3А). Представление о «схеме тела» было введено клиницистами для описания расстройств, возникающих при поражениях центральной нервной системы. Эти нарушения могут заключаться в отсутствии осведомленности о различных частях тела (например, руки) и/или невозможности действия ими (Гурфинкель, Левик 1991; Лурия 1973; Ver-lucchi, Aglioti 1997). Ярким свидетельством в пользу представления о существовании «схемы тела» является клинический феномен фантомных конечностей, проявляющийся в том,

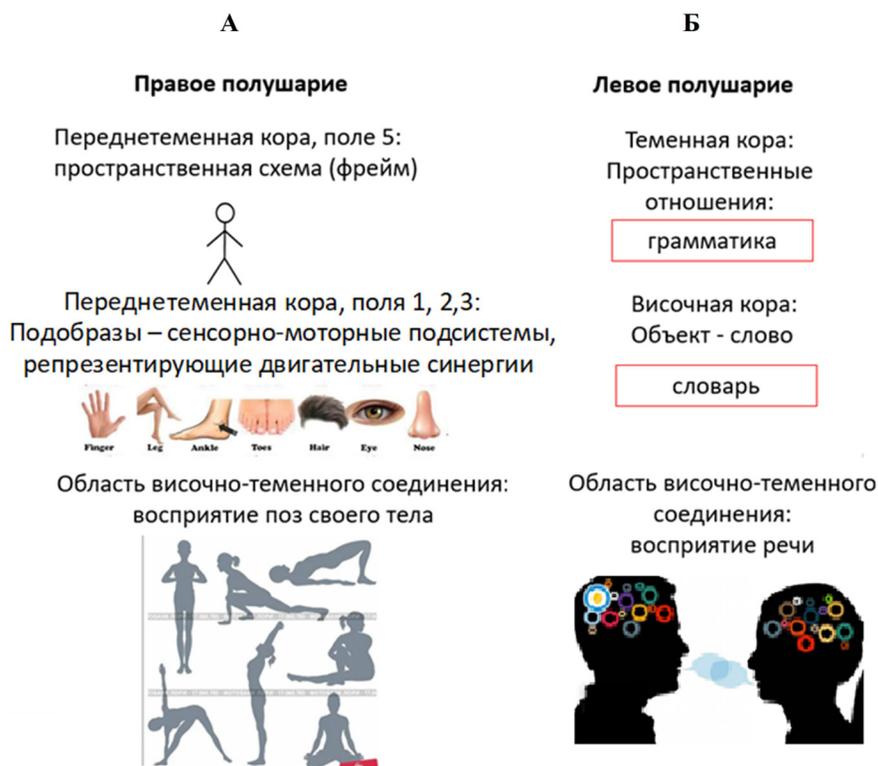


Рис. 3. Концепция двойной дихотомии применительно к области височно-теменного соединения (ВТС).  
Правое ВТС обеспечивает формирование внутренней модели «схемы тела» (А),  
левое — восприятие речи (Б)

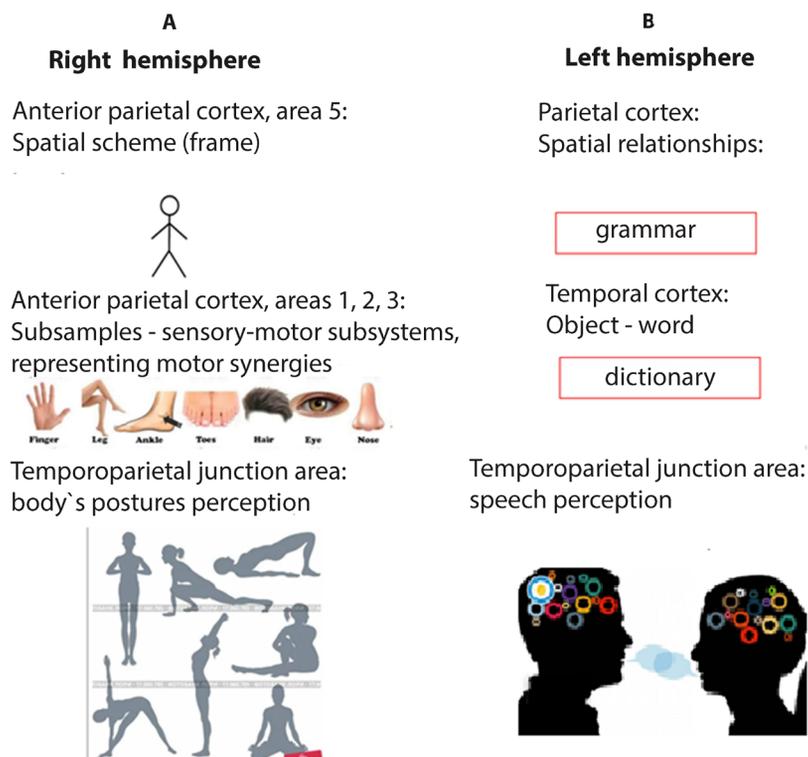


Fig. 3. The double dichotomy framework applied to the temporoparietal junction (TPJ).  
(A) The right TPJ is involved in constructing an internal model of the 'body schema'.  
(B) The left TPJ is associated with speech perception

что после ампутации руки или ноги (а также, как позже показано, груди, челюсти, пениса) возникает иллюзия наличия ампутированной части тела (Berlucchi, Aglioti 1997). Общий принцип «схемы тела» был определен еще в 1911 г. (Head, Holmes 1911) как «комбинированный стандарт, относительно которого измеряются изменения позы, и который определяет организацию пространственно-ориентированной активности». Более позднее определение 1979 г. (Critchley 1979) расширяет первое: «Схема тела — это ментальный конструкт, который включает чувственные впечатления, восприятия и идеи о динамической организации своего тела и его взаимоотношении с другими телами». На основании сведений о фантоме врожденно отсутствующей части тела в 1990 г. предложена концепция нейронной матрицы (*neuromatrix*), которая характеризуется «генетически определяемым субстратом, модифицирующимся сенсорным опытом» (Melzack 1990).

Н. А. Бернштейн (Бернштейн 1997) пишет о синтезе проприоцептивной информации на таламо-паллидарном уровне (уровень В): «Если обобщить всю характерную для описываемого уровня афферентацию, то это окажется *афферентация собственного тела*, проприорецепторика *par excellence*. Тело в этом уровне построения есть и *исходная система координат*, в которой соотносятся рецепции и движения, и конечная цель этих рецепций и движений. Объединяясь вместе, обрастая попутно местными знаками и обобщаясь по какой-то *единой для всех сигналов системе координат собственного тела*, все эти бесчисленные тактильные и проприоцептивные рецепции срастаются в исключительно полную и обстоятельную информацию об его двигательном аппарате» (Бернштейн 1997, 95). То, как проприоцептивная информация обобщается «по какой-то единой для всех сигналов системе координат собственного тела», по-видимому, может быть описано с помощью фрейма — условно назовем его фреймом «схемы тела».

В литературе есть информация, характеризующая особенности организации этого фрейма. Особенность его в иерархичности: голова — это основной сегмент (Berthoz 1991), за ним следуют все более и более дистальные сегменты (Paillard 1991). При адаптации к искажению зрительного пространства с помощью призматических очков при движениях руки к зрительной цели «перекалибровка зрительно-моторного пространства происходит в направлении более дистальных суставов», и это дает возможность сформулировать представления

о «сегментации схемы тела в подпространства (sub-spaces), чередующиеся в проксимально-дистальной иерархической структуре и управляемые головным сегментом» (Paillard 1991, 173). «Схема тела», согласно мнению Пайара, «может быть разделена на сенсорно-моторные подсистемы (sub-systems), представляющие (representing) двигательные синергии» (Paillard 1991, 173). Представляется вероятным, что эти подсистемы могут заполнять ячейки фрейма «схемы тела» (рис. 3А).

На основании внутренней модели «схемы тела» происходит, как предполагают В. С. Гурфинкель и Ю. С. Левик (Гурфинкель, Левик 1991, 1999), интеграция мультимодальной проприоцептивной, вестибулярной и зрительной информации. Ю. П. Иваненко и В. С. Гурфинкель отмечают: «Тот факт, что автоматические поструральные реакции осуществляются в соответствии со схемой внутреннего представления тела ..., указывает на то, что это служит не только для сознательного восприятия положения, но и является основой для планирования и реализации двигательных действий» (Ivanenko, Gurfinkel 2018).

«Схема тела» включает и динамическую информацию о взаимодействии тела с объектами внешнего мира (Critchley 1979). Следовательно, есть еще некий уровень, где объединяется интраперсональная и экстраперсональная информация. Это объединение происходит в 5 и 7 полях теменной коры (Nyvarinen 1977; Nyvarinen, Shelepin 1979), и, как можно предполагать, достигает более полного уровня интеграции в области височно-теменного соединения, где наличествует информация как от системы «Что?», так и от системы «Где?». Именно эта зона, преимущественно в правом полушарии, является критичной для интеграции информации от всех модальностей и регуляции вертикальной позы на основании этой интегрированной информации (Pérennou et al. 2000). Она, как и экстрастриарная область «вида тела» (*extrastriate body area EBA*) (Downing et al. 2001), активируется при предъявлении испытуемым изображений человеческого тела или его частей, но не неодушевленных предметов (Saxe, Kanwisher 2003), а ее поражение может приводить к возникновению ощущения выхода из тела (“out-of-body experience”) (Blank et al. 2005).

Область височно-теменного соединения связана и с высшими психическими функциями. Она является одной из областей, активирующихся при «историях, возбуждающих мысли и чувства» (Abu-Akel 2003), ее активность связана с чувством свободы воли, социальными

отношениями и переключением внимания к зрительному стимулу (Decety, Lamm 2007). Можно предположить, что этот уровень формирования «схемы тела» обеспечивает «включение в контекст», учет как событий, происходящих в экстра- и интраперсональном пространстве, так и эмоционально-психических и когнитивных факторов, субъективных оценок значимости ситуации, в чем важную роль играют ее связи в правом полушарии с островком (Kucyi et al. 2012).

В левом полушарии область височно-теменного соединения включает зону Вернике и угловую извилину — структуры мозга, которые участвуют в языковом познании, обработке и понимании как письменной, так и устной речи. С. К. Пинкер в книге «Языковой инстинкт: как разум создает язык» (Pinker 1994) предполагает, что эта область мозга формирует амодальный «язык мысли»: информация из внешней среды, например, услышанные разговоры, соотносится с информацией из памяти и преобразуется в письменную или устную речь. Область височно-теменного соединения левого полушария также играет важную роль в умозаключениях об убеждениях, намерениях и желаниях других людей (Gallaher et al. 2000), пациенты с поражениями этой зоны не могут правильно определить, когда кто-то лжет (Samson et al. 2004). В отличие от правого полушария, область височно-теменного соединения в левом полушарии связана с нижней лобной извилиной, где локализована зона Брока (Kucyi et al. 2012). Если при поражении височно-теменного соединения правого полушария может иметь место «выход из тела», то при поражении его в левом полушарии — дислексия.

Непосредственное отношение к представлению о собственном теле имеет, по-видимому, и префронтальная кора (Keenan et al. 2000; Vallar et al. 1999). Фронтальная и теменная кора рассматриваются как единый комплекс для формирования эгоцентрических систем координат описаний у человека (Vallar et al. 1999).

Имеются клинические данные, свидетельствующие о роли спинного мозга в формировании «схемы тела». Это дает основания для представления о том, что «схема тела не является строго локализованной структурой, она скорее представляет собой распределенную систему, элементы которой имеются на разных уровнях ЦНС» (Гурфинкель, Левик 1991).

Итак, кортикальные структуры, связанные с формированием внутренних представлений о «схеме тела», располагаются преимущественно в правом полушарии и, что представляется

весьма вероятным, в основе формирования внутренней модели «схемы тела» лежит тот же способ представления сенсорной информации, который в правом полушарии используется для описания зрительной информации, — конкретное неинвариантное описание объекта, а в случае «схемы тела» — субъекта. Правое полушарие склеивает из подобразов — сенсорно-моторных подсистем, репрезентирующих двигательные синергии, их кодовые описания с помощью пространственных операторов или пространственных схем (фреймов), хранящихся в теменной коре. Совместный код подобразов и фрейма в правом полушарии дает описание тела, на основании которого формируется движение и поддерживается поза. Один и тот же пространственный оператор (фрейм) может описывать разные позы. Таким образом может происходить формирование внутренней модели «схемы тела». Это описание «здесь и сейчас» актуально для адаптации организма к изменяющимся условиям внешней среды в случае обработки информации от экстерорецепторов, к изменениям информации от проприорецепторов в случае формирования внутреннего представления о «схеме тела» (последнее особенно актуально в периоды жизни, когда форма тела изменяется). Эти механизмы лежат в основе возможности обучения восприятию нового и формирования адекватных моторных ответов, в том числе и стратегий поведения (что будет описано ниже).

Возможности левого полушария в выявлении взаимоотношений между описаниями объектов (в самом широком смысле этого слова, включая и внешние объекты, и части тела, и инструменты, и слова) позволяют системам «Что?» сформировать «Словарь» (как в прямом смысле этого слова — «Словарь слов», так и в широком смысле — «Словарь объектов»), системам «Где?» — «Грамматики», т. е. правила, фрейма, который заполняется из «Словаря» (Глезер 1985) (рис. 3Б).

Современные исследования почти 30 лет спустя подтвердили это предположение (Ries et al. 2019), выявив различия между дорзальной и вентральной частью тракта, соединяющего заднюю височную кору и нижнюю лобную кору левого полушария. Показано, что дорзальная часть имеет решающее значение для организации слов в последовательности, необходимой для формирования предложений, а вентральная — для обработки семантической информации (Ries et al. 2019). Проведенное в 2024 г. трактографическое исследование (Alam et al. 2024) показало, что вентральная и дорзальная

ветви нижнего лобно-затылочного тракта (соединяющего теменную, височную и затылочную области с лобной корой и задействованного в целом ряде функций, включая язык, семантику, торможение и контроль за действиями) функционируют по-разному в правом и левом полушарии.

### Две системы «Что?» и две системы «Где?»

Результаты трактографических исследований последних лет, а также анализа функциональной связности (functional connectivity) и эффективной (направленной) связности (effective (di-

rected) connectivity), собранные в рамках проекта Human Connectome и опубликованные в 2024 г. в обзоре (Rolls 2024), привели к расширению представлений о связях кортикальных структур зрительной системы с другими кортикальными областями (рис. 4).

Кроме уже ставших классическими представлений о системе «Что» в нижневисочной коре, обеспечивающей идентификацию объектов и лиц (вентролатеральный зрительный поток, синие стрелки на рис. 4), описывается вторая система «Что», которая реагирует на движущиеся объекты и лица, а также на выражения лиц, и локализуется в верхней височной бороз-

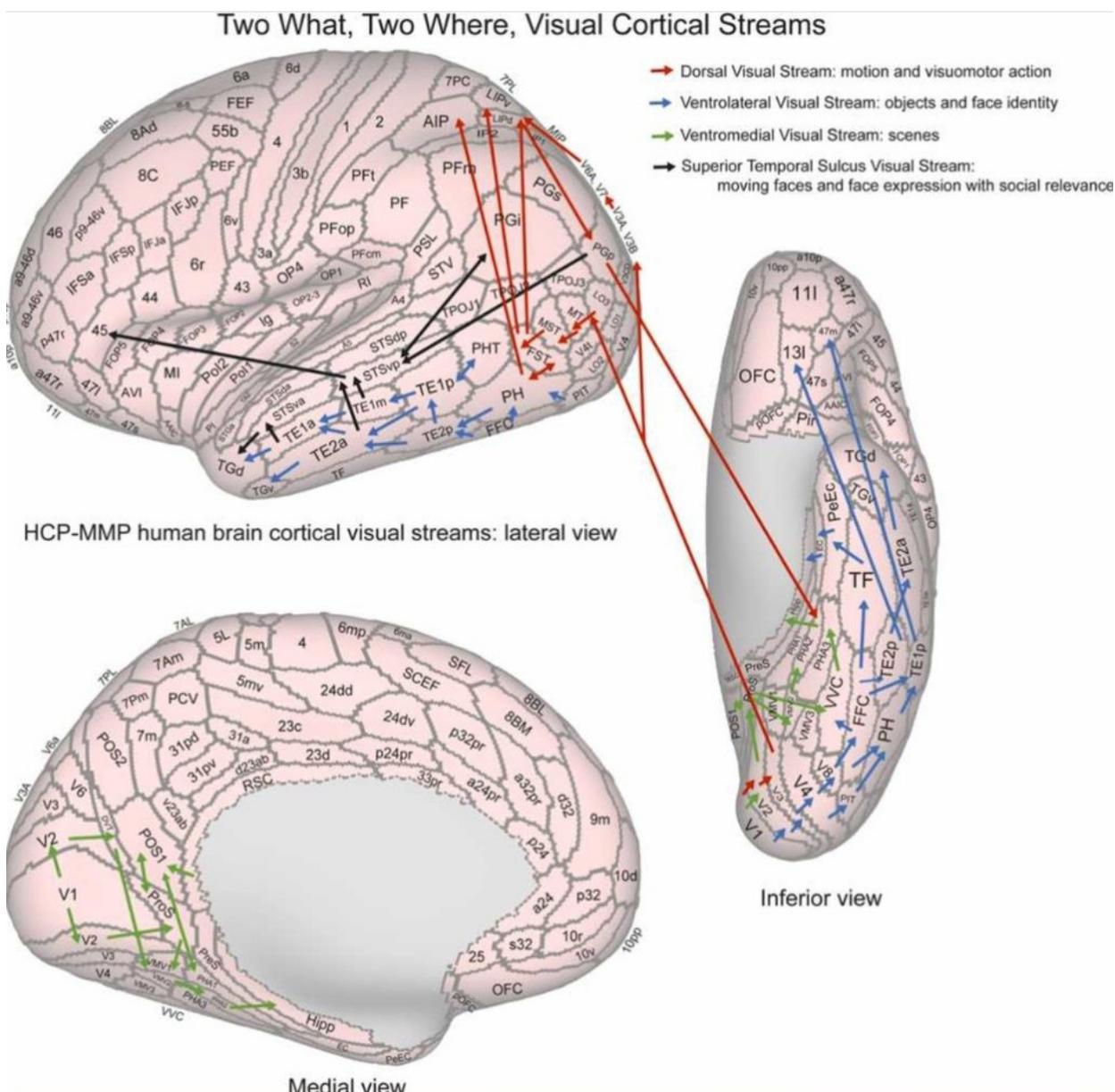


Рис. 4. Две системы «Что?» и две системы «Где?» (Rolls, 2024). Пояснения в тексте

Fig. 4. Two 'what?' and 'where?' systems (Rolls, 2024). See text for explanations

де (STS), связывая информацию от височной и теменной коры (черные стрелки на рис. 4). STS соединяется с орбитофронтальной корой, обеспечивая управление эмоциями и социальным поведением. Первая же система «Что» передает информацию из нижне-височной коры в систему эпизодической памяти гиппокампа, семантическую систему передней височной доли и также в орбитофронтальную кору (которую рассматривают как «входную дверь» в осознание (Northoff, Vermpohl 2004)).

Кроме «классического» дорсального зрительного пути «Где» (от первичных зрительных областей затылочной коры к заднетеменной коре, красные стрелки на рис. 4), который отвечает за пространственные описания для организации действий в пространстве, выделяют вторую систему «Где» (ветромедиальный поток, зеленые стрелки на рис. 4). Вторая система «Где» описывает комбинации элементов для построения сцен и передает эту информацию через парагиппокампальную область сцены в систему эпизодической памяти гиппокампа для навигации по ориентирам. Первая система «Где» дорсального зрительного пути также передает информацию в парагиппокампальную область сцены при самодвижениях для обновления местоположения в сценах в темноте.

Аспекты межполушарной асимметрии в зроре (Rolls 2024) не рассматриваются, за исключением упоминания о преимущественной активации STS в правом полушарии при восприятии лиц.

### **Межполушарная асимметрия обработки информации: управление движениями, последовательности движений, правила и случайности**

Различие принципов обработки информации в правом и левом полушариях касается и управления движениями. В первую очередь, это проявляется в феномене ведущей правой руки. Правая рука правшей специализируется на осуществлении автоматизированных целенаправленных динамических действий и их последовательностей, левая — на подготовке движения, статике и планировании новых движений, т. е. при задачах, требующих осуществления пространственно-сложных движений (Bradshaw 2001). В таких быстрых динамических задачах как прицеливание, правая рука выполняет задания более точно и единообразно, а в распознавании текстур или копировании статичного положения пальцев лучше левая рука (как и левая нога) (Carnahan, Elliott 1987). Длительность

движения правой рукой к цели меньше, чем левой, но подготовка движения правой рукой (время реакции) дольше. По-видимому, это свидетельствует о том, что правое полушарие специализируется на подготовке движения руки, левое — на осуществлении движения (Bradshaw 2001; Morgan et al. 1994). Асимметрия управления мышцами лица также свидетельствует о роли левого полушария в управлении более динамичными действиями, а правого — более статичными. Так, регуляция лицевых мышц (facial posture) верхней половины лица обеспечивается правым полушарием, нижней (рот) — левым (Corballis 1998), что, по-видимому, связано с системой управления речью, обеспечивающей динамичное изменение активности мышц речевого тракта.

Исследования последних десятилетий показали, что при организации движений правой и левой руки используются разные принципы кодирования информации: правое полушарие специализируется на позиционном кодировании (кодирование положений), левое — на векторном (кодирование движений). Исключительно убедительными для такого предположения являются результаты клинических исследований (Haaland et al. 2004; Sainburg, Duff 2006; Schaefer et al. 2009): пациенты с правосторонними поражениями демонстрируют ухудшение позиционной точности (deficits in positional accuracy), а пациенты с левосторонними нарушениями — ухудшение управления траекторией движения (deficits in trajectory control). На основании этих и ряда других данных предполагалось, что при работе правого полушария происходит учет приприоцептивной информации от обратных связей при осуществлении движения, при работе левого полушария — движения баллистические, движения не корректируются при их осуществлении, что дает возможность осуществлять более быстрые движения, их последовательности, жесты и речь.

Анализ ошибок движений руки при воспроизведении запомненных последовательностей показал, что и правши, и левши в случае активации позиционного способа кодирования информации используют информацию о предшествующих движениях неведущей руки. При активации же векторного кодирования, наоборот, используется информация лишь о предшествующих положениях ведущей руки (Боброва и др. 2011; 2012; 2015a; 2015b; 2017; Ляховецкий, Боброва 2009; Ляховецкий и др. 2015). Правши и левши воспроизводили запомненную последовательность (рука испытуемого перемещалась по шести положениям

на сенсорном экране), а затем последовательность модифицировалась, и вновь требовалось воспроизвести эту измененную последовательность. В первой последовательности стимулы располагались в квазислучайном порядке, и изменения во второй последовательности были двух типов. Для активации позиционного (абсолютного) способа кодирования положения целей во второй последовательности были теми же, но порядок их обхода изменен. Для активации векторного (относительного) способа кодирования во второй последовательности движения были те же («вектора движений»), но изменен порядок этих движений. Результаты анализа ошибок свидетельствовали о том, что субдоминантное полушарие (правое полушарие правой и левое — левой) обеспечивает позиционный способ кодирования информации о целях движения (абсолютный), доминантное — векторный способ, который не учитывает текущие положения, но лишь информацию об их изменениях (относительный). Игнорирование доминантным полушарием части информации (информации о положениях) дает возможность осуществления движения быстрее, без учета обратных связей, баллистически из точки в точку. Представляется вероятным, что такой способ кодирования дал человеку возможность формировать очень быстрые последовательности движений — жесты и речь (Боброва и др. 2011, 2015b, 2017).

Эти соображения подтверждаются данными об особенностях запоминания информации об упорядоченных или случайных положениях руки при воспроизведении запомненных последовательностей движений (Боброва и др. 2010; 2011). Оказалось, что воспроизведение правшами запомненных упорядоченных в пространстве положений при изменении порядка их «обхода» приводит к меньшим ошибкам при работе правой, чем левой рукой, а квазислучайных положений — левой. По-видимому, это связано с преимущественной локализацией в левом полушарии механизмов запоминания последовательностей, выделяющих информацию об упорядоченности целей движения. Такой способ кодирования информации может лежать в основе механизмов формирования жестов и речи. В его основе, как можно предполагать, лежат описанные концепцией двойной дихотомии принципы кодирования в левом полушарии, отражающие правило взаимодействия между элементами (объектами), заполняющими ячейки фрейма, определяющего характер правила.

В пользу этих взглядов свидетельствуют и клинические данные о том, что репрезентации в памяти выученных последовательностей движений хранятся преимущественно в левой теменной коре (при ее поражении имеет место апраксия, неспособность осуществлять целенаправленные движения при сохранности моторных, перцептивных и когнитивных функций) (Rosenbaum 2010).

### **Речь, префронтальная кора (ПФК), жесткие и нежесткие ассоциации, сценарии, креативность**

В книге «Зрение и мышление» В. Д. Глезер сформулировал гипотезу о том, что механизмы анализа зрительной информации, описываемые концепцией двойной дихотомии, могут лежать в основе речи и мышления. Как упоминалось выше, согласно представлениям В. Д. Глезера, системы «Что?» и «Где?» левого полушария, обеспечивающие формирование описаний взаимоотношений между объектами, могут рассматриваться не только как «Словарь» и «Грамматика» («Что?» и «Где?») зрительной информации, но и как «Словарь» и «Грамматика» речи.

Эти идеи нашли подтверждение в исследованиях, касающихся функционирования ПФК (Cheng et al. 2022; Kaller et al. 2011; O'Reilly 2010; Romanski et al. 1999; Wilson et al. 1993; Yi et al. 2022).

Исследования активности нейронов ПФК в 90-е гг. XX в. показали, что и зрительная (Wilson et al. 1993), и слуховая (Romanski et al. 1999) информация через вентральный и дорзальный потоки поступает в две пространственно-разнесенные области ПФК: вентролатеральная ПФК обрабатывает информацию об объектах, дорзолатеральная — о пространственных характеристиках стимулов.

Позже, в 2010 г. (O'Reilly 2010) (рис. 5) были выдвинуты представления о системах «Что?» и «Как?» в ПФК, обеспечивающих когнитивные аспекты обработки информации и локализованных, соответственно, в вентролатеральной ПФК (поля Бродманна 12, 44, 45, 47 в области нижней лобной извилины) и дорзолатеральной ПФК (поля Бродманна 8, 9, 46 в области средней лобной извилины) (O'Reilly 2010) (рис. 5).

Представление о системе «Как?» уже предлагалось ранее (Goodale, Milner 1992) в качестве более полного описания процессов, обеспечиваемых функционированием системы «Где?», локализованных в теменной коре. Вопрос рассматривался так: обеспечивает ли теменная

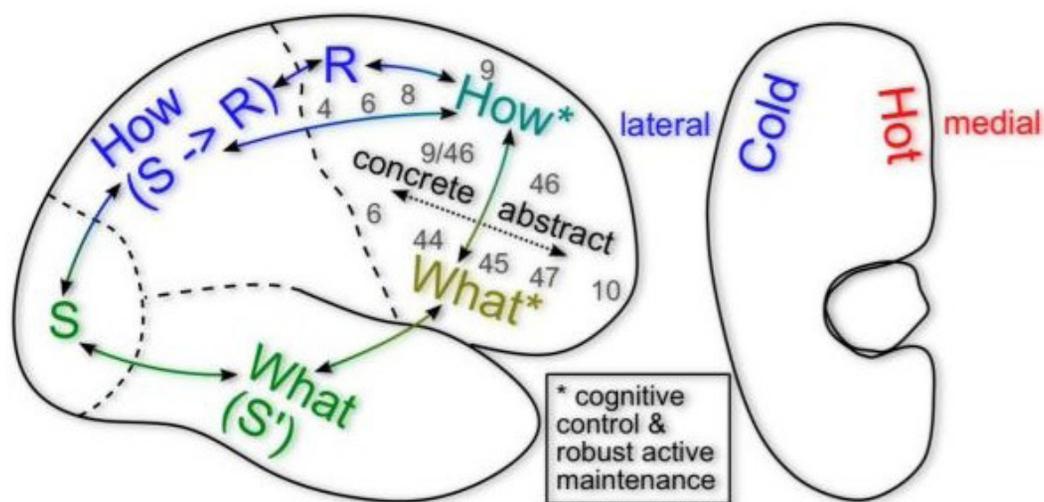


Рис. 5. Системы «Что?» и «Как?» дорзального и вентрального потоков. Дорзальный поток (синий): восприятие для действия в системе «Как?» (How) — перекартирование информации о стимуле S в ответ R. Вентральный поток (зеленый): система «Что?» (What) — перекодирование S в семантическую репрезентацию S'. How\* и What\* — когнитивные аспекты обработки информации системами «Что?» и «Как?» в дорзо- и вентролатеральной префронтальной коре, соответственно. В латеральной префронтальной коре в каудально-ростральном направлении информация представлена все более абстрактно (concrete — abstract). Латеральная (lateral) поверхность префронтальной коры картирует эмоционально нейтральные когнитивные оценки (Cold), медиальная (medial) поверхность префронтальной коры — эмоционально окрашенные репрезентации (Hot). Серые цифры — поля Бродманна (O'Reilly, 2010).

Fig. 5. The 'what?' and 'how?' systems of the dorsal and ventral streams. Dorsal stream (blue): the 'how?' system involves the re-mapping of stimulus (S) information into response (R). Ventral stream (green): the 'what?' system encodes stimulus (S) into its semantic representation (S'). How\* and What\* represent cognitive aspects of information processing by the 'what?' and 'how?' systems in the dorso- and ventrolateral prefrontal cortex, respectively. In the lateral prefrontal cortex, from caudal to rostral, information is processed increasingly abstractly. The lateral surface of the prefrontal cortex encodes emotionally neutral cognitive representations (Cold), while the medial surface encodes emotionally colored representations (Hot). The gray numbers are Brodmann areas (O'Reilly, 2010)

кора пространственные описания («Где?») или переводит восприятие в действие («Как?»). Ряд данных свидетельствовал о том, что при поражении системы «Что?» (структур, формирующих вентральный поток обработки информации о форме объектов) невозможно описать форму объекта, но действие с этим объектом может быть организовано с учетом его формы (и, конечно, его положения в пространстве) благодаря активности структур, формирующих дорзальный поток обработки информации, т. е. теменной коры (Goodale, Milner 1992). Поскольку для организации действия необходимо иметь информацию о требуемом положении в пространстве, представление о системе «Как?» и рассматривается как расширение представлений о системе «Где?» (O'Reilly 2010).

Здесь отметим, вероятно, что функционирование системы «Как?» (восприятие для действия, т. е. как может быть организовано действие —

не только где цель, но и как ее достичь) в большей степени обеспечивается нейронными сетями переднетеменной коры (поле Бродманна 5), а системы «Где?» — заднетеменной коры (поле Бродманна 7). Такая точка зрения обусловлена тем, что нейроны заднетеменной коры преимущественно реагируют на зрительные стимулы и на изменение положения глаз в орбитах, а нейроны переднетеменной коры дополнительно учитывают проприоцептивную информацию о положении частей тела, в особенности руки (Rizzo et al. 2017) (рис. 6), что необходимо для организации действия.

С 10-х годов XXI в. проводились исследования роли систем «Что?» и «Где?» («Как?») ПФК в когнитивных аспектах обработки информации, о чем речь пойдет ниже.

Общеизвестно, что в вентролатеральной ПФК левого полушария располагается зона Брока, обеспечивающая управление моторикой речи (поле 44) и распознавание семантики слов

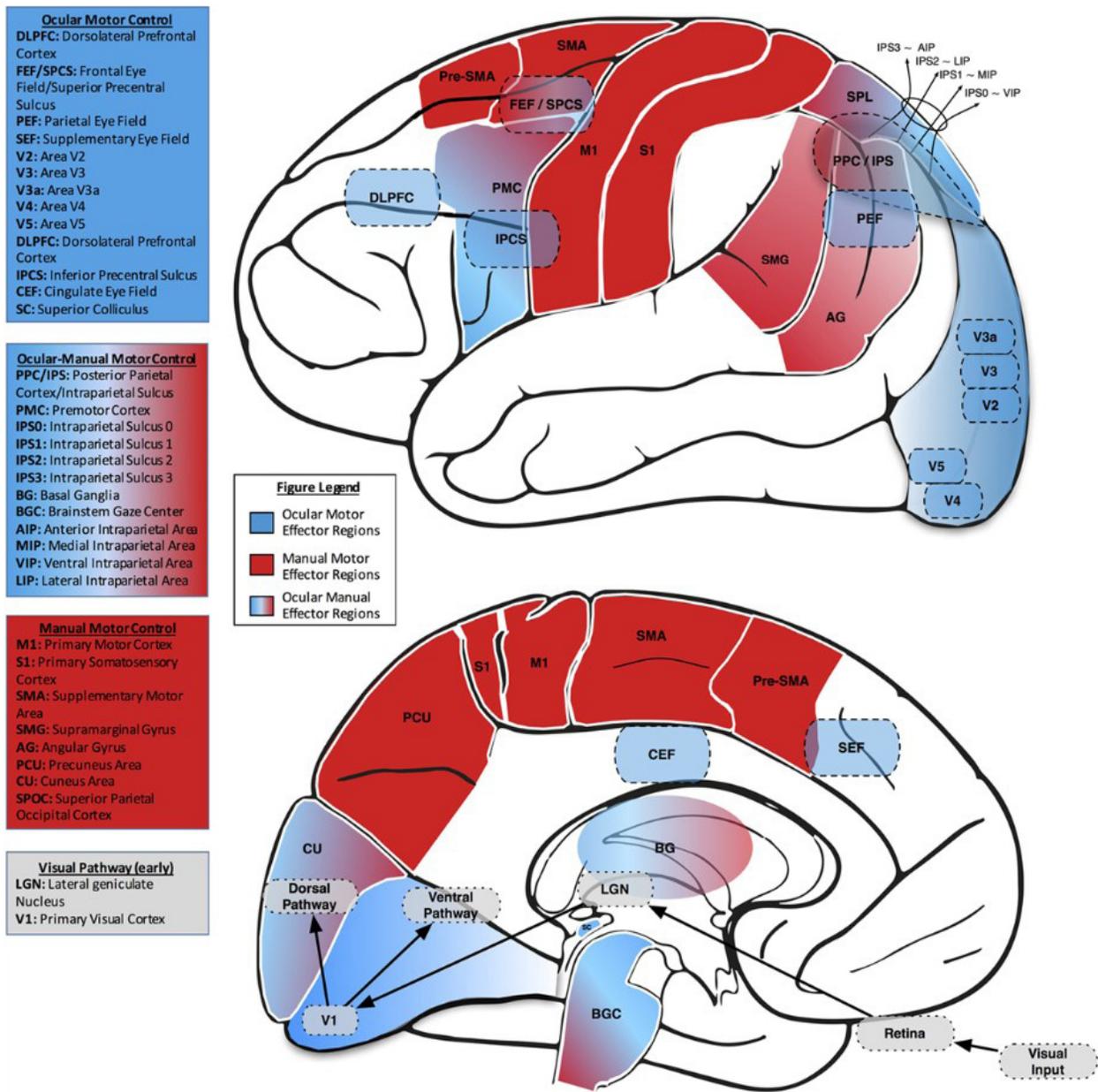


Рис. 6. Представительство в головном мозге областей, содержащих нейроны, обеспечивающие регуляцию движений глаз (синий) и движений руки (красный). Структуры зрительного пути показаны серым (Rizzo et al. 2017)

Fig. 6. Brain regions involved in controlling eye movements (blue) and hand movements (red). Structures of the visual pathway are indicated in gray (Rizzo et al. 2017)

(поле 45). Ее активность увеличивается при внутреннем диалоге (Morin, Michaud 2007) и при когнитивном контроле памяти (Badre, Wagner 2007). Сравнение функций вентролатеральной ПФК правого и левого полушария (Cheng et al. 2022) показало, что левая вентролатеральная ПФК отвечает за лингвистический, особенно семантический процесс генерации и отбора оценок в соответствии с целью регуляции эмоций, в то время как правая играет решающую роль в подавлении неуместных

негативных эмоций и мыслей, генерируемых эффективными сценариями. В этом важную роль играет система вознаграждения и дофаминовые пути (Cheng et al. 2022). Различия систем «Что?» вентролатеральной ПФК правого и левого полушария могут быть связаны с асимметрией содержания дофамина в базальных ганглиях: оно выше в левых, чем в правых (Glick et al. 1982; Van Dyck et al. 2002). Кроме того, показано, что правая вентролатеральная ПФК участвует в распознавании и обработке

информации о гармонической последовательности музыкальных произведений (Cheung et al. 2018).

Роль системы «Как?» префронтальной коры связана с регуляцией сценариев поведения, действий. Показаны отличия активности правой и левой дорзолатеральной ПФК при планировании действий (Kaller et al. 2011). При задаче выстроить в определенном порядке цели в тесте Лондонской башни активность дорзолатеральной ПФК в большей степени зависела от того, требовались ли промежуточные этапы в решении или задачу можно было решить напрямую; активность же левой больше зависела от очевидности/упорядоченности положений целей. Эта зависимость активности левой дорзолатеральной ПФК от упорядоченности, по-видимому, связана с принципами обработки информации в левом полушарии и его специализацией на относительном (векторном) кодировании и вычленении информации о правилах (Боброва и др. 2011).

Важным аспектом функционирования правой дорзолатеральной ПФК является ее роль в анализе маловероятной информации. В ее передней части методом функциональной магнитно-резонансной томографии обнаружена область, активирующаяся в случае решения испытуемыми задач, связанных с так называемыми «слабыми», т. е. редко используемыми представлениями (Yi et al. 2022). Активация этой области положительно коррелировала с выполнением творческих задач, но не зависела от выполнения задач, просто требующих внимания (Yi et al. 2022). Такая роль этой части мозга, по-видимому, отражает роль правого полушария в обучении (Боброва 2007; Боброва и др. 2010, 2011, 2012; Ляховецкий, Боброва 2009; Ляховецкий и др. 2012, 2015; Bagesteiro, Sainburg 2003; Jager, Postma 2003; Halsband, Lange 2006; Serrien et al. 2007). Если сценарий эффективен, но использовался редко, эта область обеспечивает реализацию такого сценария, вытормаживая опасения (Cheng et al. 2022). Это дает возможность формирования нового пути решения проблемы, использования нового поведенческого сценария. Происходит это, по-видимому, путем вытормаживания старых сценариев. Вообще, правая ПФК рассматривается (Aron et al. 2014; Bartoli et al. 2018; Chavan et al. 2015; Hannah et al. 2020) как «тормоз», который «может быть включен в разных режимах (полностью, чтобы полностью подавить реакцию; или частично, чтобы приостановить) и в разных контекстах (внешне, с помощью

остановки или характерных сигналов; или внутренне, с помощью целей)» (Aron et al. 2014).

Вышеописанные сведения о роли передней части правой дорзолатеральной ПФК дополняют сведения об отличиях функций передних и задних отделов ПФК. В 2015 г. было показано (Domenech, Koechlin 2015), что «ядро» ПФК, т. е. ее самая ростральная часть — лобный полюс, а также участки латеральной, вентро- и дорзомедиальной ПФК формируют вероятностные рассуждения высокого порядка для online-оценки того, использовать ли ранее выученные поведенческие наборы или создавать новые для эффективного адаптивного поведения в изменяющемся окружении. Более каудальные области ПФК (премоторная и орбитофронтальная кора) отвечают за выбор действий в стабильных средах.

Более позднее исследование 2019 г. показало, что в «ядре» ПФК «вершина иерархии» находится в срединно-латеральной (а не ростральной) ПФК, что, как пишут авторы, уточняет идею существования параллельных дорзальных и вентральных потоков в ростро-каудальной иерархической организации ПФК (Schumacher et al. 2019).

Итак, эволюционно самая поздняя область — ПФК — обеспечивает оценки того, стоит ли использовать поведенческие стереотипы или создавать новые. Подсистема «Что?» ПФК левого полушария оценивает смыслы текущего состояния, а подсистема «Как?» ПФК определяет характер действия в зависимости от соответствия ситуации определенному правилу, обеспечивая возможность выбора соответствующего стереотипного поведенческого набора. В правом же полушарии подсистемой «Что?» ПФК обеспечивается подавление неуместных негативных эмоций и мыслей, возникающих при использовании сценариев, которые уже показали свою эффективность, а подсистема «Как?» ПФК дает возможность формирования новых поведенческих сценариев, активируясь при решении творческих задач, и определяет характер действия в зависимости от его сложности.

Таким образом, специфика организации эволюционно более позднего отдела мозга — ПФК, выявляет особенности, отражающие характер обработки информации в эволюционно более древних каудальных областях коры головного мозга. Это расширяет концепцию двойной дихотомии мозга, которую, учитывая вышесказанное, можно было бы назвать теперь тройной дихотомией.

### Регуляция внимания

Взаимодействия между системами «Что?», «Где?» и «Как?» в разных отделах мозга правого и левого полушария обеспечиваются системой регуляции внимания. В 2002 г. в обзорной статье Корбетта и Шульмана (Corbetta, Shulman 2002) была предложена концепция двух анатомически и функционально различных систем внимания в человеческом мозге (рис. 7). Лобно-теменная — дорзальная система служит для нисходящего контроля (top-down) произвольного внимания к местоположениям или характерным особенностям стимулов. Вентральная лобно-теменная система участвует в обнаружении не привлекавших ранее внимания или неожиданных поведенчески-значимых стимулов и инициировании переключения внимания, она обеспечивает восходящий контроль внимания (bottom-up) и является «автоматическим выключателем» для дорзальной сети, чтобы направить внимание к важным событиям (Corbetta, Shulman 2002; Vossel et al. 2014).

Согласно уже ставшим классическими представлениям, система нисходящего контроля (top-down), или так называемое эндогенное

внимание для ориентации внимания и поддержания активности мозга, возникающей при эндогенных сигналах, связанных с текущими целями, обеспечивается активностью лобных глазодвигательных полей (FEF на рис. 7) и задней теменной коры и/или интрапариетальной борозды (IPS на рис. 7) каждого полушария (Berndt et al. 2019; Zhao et al. 2022). Эти области мозга активны, когда внимание ориентировано в пространстве, они содержат области с ретинотопически организованными картами контралатерального пространства.

Внимание, управляемое внешними стимулами (т. е. экзогенное внимание, bottom-up), активирует вентральную сеть внимания для переориентации зрительно-пространственного внимания, которое в основном вызывает активность мозга в нижней лобной извилине (вентролатеральная ПФК) и височно-теменных соединениях, особенно в правом полушарии (Corbetta, Shulman 2002). Области височно-теменного соединения, по-видимому, состоят из множества субрегионов с различными связями (Mars et al. 2012), что подтверждается широким спектром функций этой зоны мозга.

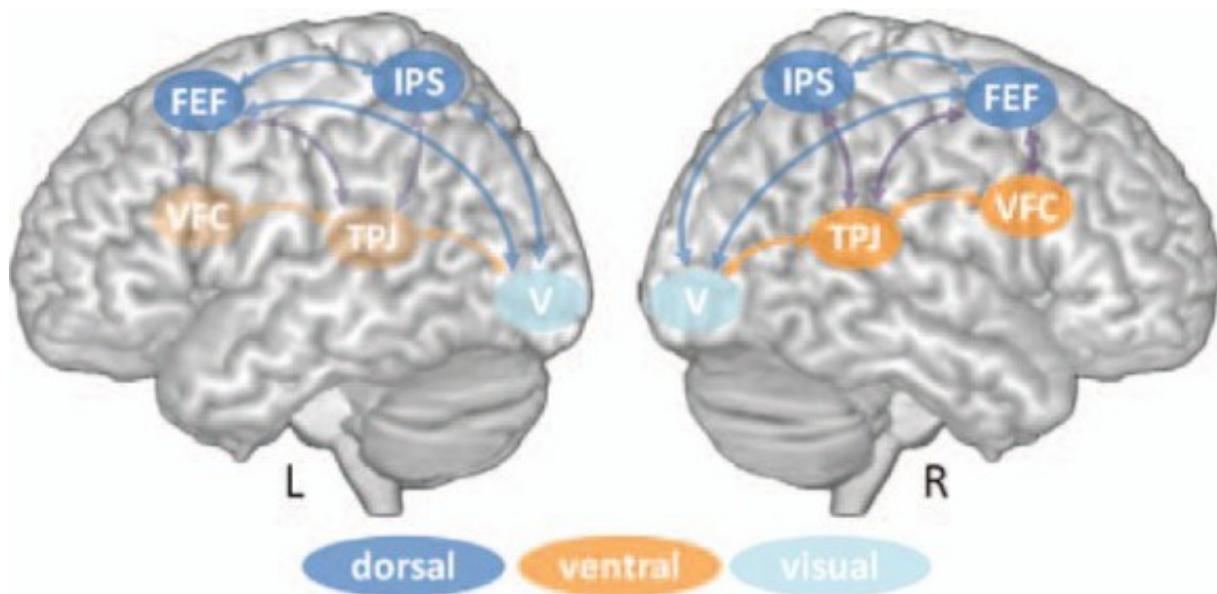


Рис. 7. Схематическая иллюстрация компонентов дорсальной (синей) и вентральной (оранжевой) систем внимания в мозге человека. FEF — лобные глазодвигательные поля; IPS — интра-париетальная борозда; VFC — вентральная лобная кора; TPJ — височно-теменное соединение; V — зрительная кора.

Предполагаемые внутри- и межсетевые связи показаны двусторонними стрелками. Межполушарные связи между гомологичными областями не показаны (Vossel et al. 2014)

Fig. 7. Schematic representation of the components of the dorsal (blue) and ventral (orange) attention systems in the human brain. FEF — frontal eye fields; IPS — intraparietal sulcus; VFC — ventral frontal cortex; TPJ — temporoparietal junction; V — visual cortex. The presumed intra- and inter-network connections are indicated with bidirectional arrows. Hemispheric connections between homologous regions are not depicted (Vossel et al. 2014)

Более того, предполагается, что вентральный поток в системе регуляции внимания, который локализуется в области височно-теменного соединения (Vossel et al. 2014), латерализован и связан с правым полушарием (Corbetta, Shulman 2002; Corbetta et al. 2008): в правом полушарии более выражены связи области височно-теменного соединения с островком — интегратором сенсорной, в том числе interoцептивной, информации, контролирующим двигательные функции и социальные эмоции, в левом — с нижней лобной извилиной, где локализована зона Брока (Kucyi et al. 2012).

Предполагается, что дорзальная и вентральная сети внимания формируют супрамодальную систему внимания, регулируя процессы в разных сенсорных системах (Macaluso 2010; Macaluso, Driver 2005). Согласно современной авторитетной теории прогнозирующего (предсказательного) кодирования в мозге (Mikulasch et al. 2023), мозг постоянно генерирует и обновляет «ментальную модель» окружающей среды и использует ее для модулирования и прогнозирования входных сигналов от органов чувств, которые затем сравниваются с входными сигналами от этих органов чувств (фактически развитие идей Н. А. Бернштейна о модели «потребного будущего» (Бернштейн 1966) и П. К. Анохина об «акцепторе результатов действия» (Анохин 1980)). Сопоставление описанных в обзоре данных с этой теорией дает основания считать, что создание и обновление

«ментальной модели» окружающей среды осуществляется мозгом по двум потокам — дорзальному и вентральному, которые функционируют по-разному в правом и левом полушарии.

### Заключение

Таким образом, современные данные свидетельствуют в пользу представлений о том, что концепция двойной дихотомии, сформулированная В. Д. Глезером в его книге «Зрение и мышление» — это принцип работы мозга, описывающий основные пути обработки информации в коре больших полушарий головного мозга человека. Он проявляется в обработке информации в разных сенсорных системах, в функционировании лобных областей мозга, обеспечивающих принятие решений, реализацию стереотипных и новых сценариев поведения, в системе регуляции внимания.

### Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

### Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest, either existing or potential.

### Литература

- Анохин, П. К. (1980) *Узловые вопросы теории функциональной системы*. М.: Наука, 200 с.
- Бернштейн, Н. А. (1966) *Очерки по физиологии движений и физиологии активности*. М.: Медицина, 349 с.
- Бернштейн, Н. А. (1997) *Биомеханика и физиология движений. Избранные психологические труды*. Воронеж; М.: МОДЭК, Институт практической психологии, 608 с.
- Боброва, Е. В. (2008) Современные представления о корковых механизмах и межполушарной асимметрии контроля позы (Обзор литературы по проблеме). *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*, т. 58, № 7, с. 12–27.
- Боброва, Е. В., Богачева, И. Н., Ляховецкий, В. А. и др. (2015а) Запоминание последовательностей движений правой и левой руки правшами и левшами. *Физиология человека*, т. 41, № 6, с. 70–77. <https://doi.org/10.7868/S0131164615040050>
- Боброва, Е. В., Богачева, И. Н., Ляховецкий, В. А. и др. (2017) Запоминание последовательностей движений правой или левой руки правшами и левшами: векторное кодирование. *Физиология человека*, т. 43, № 1, с. 18–27. <https://doi.org/10.7868/S0131164617010039>
- Боброва, Е. В., Ляховецкий, В. А., Богачева, И. Н. (2015b) Обучение и заучивание запомненных последовательностей движений правой и левой руки. *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*, т. 65, № 2, с. 212–221. <https://doi.org/10.7868/S0044467715020045>
- Боброва, Е. В., Ляховецкий, В. А., Борщевская, Е. Р. (2010) Роль правой руки в запоминании пространственной упорядоченности целей при воспроизведении последовательности движений. *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*, т. 60, № 2, с. 162–165.
- Боброва, Е. В., Ляховецкий, В. А., Борщевская, Е. Р. (2011) Роль «предыстории» в воспроизведении последовательности движений правой или левой руки: кодирование положений, движений, структуры

- элементов последовательности. *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*, т. 61, № 5, с. 565–572.
- Боброва, Е. В., Ляховецкий, В. А., Скопин, Г. Н. (2012) Обучение воспроизведению последовательностей движений правой и левой руки: кодирование положений и движений. *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*, т. 62, № 4, с. 422–430.
- Глезер, В. Д. (1985) *Зрение и мышление*. Л.: Наука, 246 с.
- Глезер, В. Д. (1993) *Зрение и мышление*. 2-е изд. СПб.: Наука, 285 с.
- Гурфинкель, В. С., Левик, Ю. С. (1991) Концепция схемы тела и моторный контроль. В кн.: А. В. Чернавский (ред.). *Интеллектуальные процессы и их моделирование. Организация движений*. М.: Наука, с. 59–105.
- Гурфинкель, В. С., Левик, Ю. С. (1999) Мышечная рецепция и обобщенное описание положения тела. *Физиология человека*, т. 25, № 1, с. 87–97.
- Лурия, А. Р. (1973) *Основы нейропсихологии*. М.: Изд-во Московского университета, 375 с.
- Ляховецкий, В. А., Боброва, Е. В. (2009) Воспроизведение запомненной последовательности движений правой и левой руки: позиционное и векторное кодирование. *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*, т. 59, № 1, с. 45–54.
- Ляховецкий, В. А., Боброва, Е. В., Скопин, Г. Н. (2012) Ошибки перестановок при обучении воспроизведению последовательностей движений правой и левой руки: кодирование положений и движений. *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*, т. 62, № 6, с. 681–691.
- Ляховецкий, В. А., Карпинская, В. Ю., Боброва, Е. В. (2015) Выявление схемы пространственного кодирования по распределению ошибок памяти человека. *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*, т. 65, № 4, с. 429–435. <https://doi.org/10.7868/S0044467715040085>
- Минский, М. (1978) Структура для представления зрения. В кн.: П. Уинстона (ред.). *Психология машинного зрения*. М.: Мир, с. 249–338.
- Abu-Akel, A. (2003) A neurobiological mapping of theory of mind. *Brain Research Reviews*, vol. 43, no. 1, pp. 29–40. [https://doi.org/10.1016/s0165-0173\(03\)00190-5](https://doi.org/10.1016/s0165-0173(03)00190-5)
- Alam, T. R. J. G., Arias, C., Jefferies, E. et al. (2024) Ventral and dorsal aspects of the inferior frontal-occipital fasciculus support verbal semantic access and visually-guided behavioural control. *Brain Structure and Function*, vol. 229, no. 1, pp. 207–221. <https://doi.org/10.1007/s00429-023-02729-5>
- Aron, A. R., Robbins, T. W., Poldrack, R. A. (2014) Inhibition and the right inferior frontal cortex: One decade on. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 18, no. 4, pp. 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.003>
- Badre, D., Wagner, A. D. (2007) Left ventrolateral prefrontal cortex and the cognitive control of memory. *Neuropsychologia*, vol. 45, no. 13, pp. 2883–2901. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.06.015>
- Bagesteiro, L. B., Sainburg, R. L. (2003) Nondominant arm advantages in load compensation during rapid elbow joint movements. *Journal of Neurophysiology*, vol. 90, no. 3, pp. 1503–1513. <https://doi.org/10.1152/jn.00189.2003>
- Barrett, D., Hall, A. (2006) Response preferences for “what” and “where” in human non-primary auditory cortex. *NeuroImage*, vol. 32, no. 2, pp. 968–977. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.03.050>
- Bartoli, E., Aron, A. R., Tandon, N. (2018) Topography and timing of activity in right inferior frontal cortex and anterior insula for stopping movement. *Human Brain Mapping*, vol. 39, no. 1, pp. 189–203. <https://doi.org/10.1002/hbm.23835>
- Berlucchi, G., Aglioti, S. (1997) The body in the brain: Neural bases of corporeal awareness. *Trends in Neurosciences*, vol. 20, no. 12, pp. 560–564. [https://doi.org/10.1016/s0166-2236\(97\)01136-3](https://doi.org/10.1016/s0166-2236(97)01136-3)
- Berndt, M., Bäuml, J. G., Menegaux, A. et al. (2019) Impaired structural connectivity between dorsal attention network and pulvinar mediates the impact of premature birth on adult visual–spatial abilities. *Human Brain Mapping*, vol. 40, no. 14, pp. 4058–4071. <https://doi.org/10.1002/hbm.24685>
- Berthoz, A. (1991) Reference frames for the perception and control of movement. In: J. Paillard (ed.). *Brain and Space*. Oxford: Oxford University Press, pp. 81–111.
- Bradshaw, J. L. (2001) Asymmetries in preparation for action. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 5, no. 5, pp. 184–185. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01656-9](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01656-9)
- Carnahan, H., Elliott, D. (1987) Pedal asymmetry in the reproduction of spatial locations. *Cortex*, vol. 23, no. 1, pp. 157–159. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(87\)80028-x](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(87)80028-x)
- Chavan, C. F., Mouthon, M., Draganski, B. et al. (2015) Differential patterns of functional and structural plasticity within and between inferior frontal gyri support training-induced improvements in inhibitory control proficiency. *Human Brain Mapping*, vol. 36, no. 7, pp. 2527–2543. <https://doi.org/10.1002/hbm.22789>
- Cheng, S., Qiu, X., Li, S. et al. (2022) Different roles of the left and right ventrolateral prefrontal cortex in cognitive reappraisal: An online transcranial magnetic stimulation study. *Frontiers in Human Neuroscience*, no. 16, article 928077. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.928077>
- Cheung, V. K. M., Meyer, L., Friederici, A. D., Koelsch, S. (2018) The right inferior frontal gyrus processes nested non-local dependencies in music. *Science Reports*, vol. 8, no. 1, article 3822. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22144-9>

- Corballis, M. (1998) Cerebral asymmetry: Motoring on. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 2, no. 4, pp. 152–157. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(98\)01156-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(98)01156-5)
- Corbetta, M., Patel, G., Shulman, G. L. (2008) The reorienting system of the human brain: From environment to theory of mind. *Neuron*, vol. 58, no. 3, pp. 306–324. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.04.017>
- Corbetta, M., Shulman, G. L. (2002) Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neurosciences*, vol. 3, no. 3, pp. 201–215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>
- Critchley, M. (1979) *The Divine Banquet of the Brain and Other Essays*. New York: Raven Press, 267 p.
- Decety, J., Lamm, C. (2007) The role of the right temporoparietal junction in social interaction: How low-level computational processes contribute to meta-cognition. *Neuroscientist*, vol. 13, no. 6, pp. 580–593. <https://doi.org/10.1177/1073858407304654>
- Domenech, P., Koechlin, E. (2015) Executive control and decision-making in the prefrontal cortex. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, vol. 1, pp. 101–106 <https://doi.org/10.1016/j.Cobeha.2014.10.007>
- Downing, P. E., Jiang, Y., Shuman, M., Kanwisher, N. (2001) A cortical area selective for visual processing of the human body. *Science*, vol. 293, no. 5539, pp. 2470–2473. <https://doi.org/10.1126/science.1063414>
- Gallagher, H. L., Happé, F., Brunswick, N. et al. (2000). Reading the mind in cartoons and stories: An fMRI study of ‘theory of mind’ in verbal and nonverbal tasks. *Neuropsychologia*, vol. 38, no. 1, pp. 11–21. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(99\)00053-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00053-6)
- Glezer, V. D. (1995) *Vision and mind: Modeling mental functions*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publ., 281 p.
- Glick, S. D., Ross, D. A., Hough, L. B. (1982) Lateral asymmetry of neurotransmitters in human brain. *Brain Research*, vol. 234, no. 1, pp. 53–63. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(82\)90472-3](https://doi.org/10.1016/0006-8993(82)90472-3)
- Goodale, M. A., Milner, A. D. (1992) Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, no. 15, no. 1, pp. 20–25. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(92\)90344-8](https://doi.org/10.1016/0166-2236(92)90344-8)
- Haaland, K. Y., Prestopnik, J., Knight, R. T., Lee, R. R. (2004) Hemispheric asymmetries for kinematic and positional aspects of reaching. *Brain*, vol. 127, no. 5, pp. 1145–1158. <https://doi.org/10.1093/brain/awh133>
- Halsband, U., Lange, R. K. (2006) Motor learning in man: A review of functional and clinical studies. *Journal of Physiology-Paris*, vol. 99, no. 4-8, pp. 414–424. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2006.03.007>
- Hannah, R., Muralidharan, V., Sundby, K. K., Aron, A. R. (2020) Temporally-precise disruption of prefrontal cortex informed by the timing of beta bursts impairs human action-stopping. *NeuroImage*, vol. 222, no. 15, article 117222. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117222>
- Head, H., Holmes, G. (1911) Sensory disturbances from cerebral lesions. *Brain*, vol. 34, no. 2-3, pp. 102–254. <https://doi.org/10.1093/brain/34.2-3.102>
- Hyvarinen, J. (1977) *Parietal cortex*. Berlin: Pergamon Press., 250 p.
- Hyvarinen, J., Shelepin, Y. (1979) Distribution of visual and somatic functions in the parietal associative area 7 of the monkey. *Brain Research*, vol. 169, no. 3, pp. 561–564. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(79\)90404-9](https://doi.org/10.1016/0006-8993(79)90404-9)
- Iacoboni, M. (2005) Neural mechanisms of imitation. *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 15, no. 6, pp. 632–637. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2005.10.010>
- Ivanenko, Y., Gurfinkel, V. S. (2018) Human postural control. *Frontiers in Neuroscience*, vol. 20, no. 12, pp. 171–180. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00171>
- Jager, G., Postma, A. (2003) On the hemispheric specialization for categorical and coordinate spatial relations: A review of the current evidence. *Neuropsychologia*, vol. 41, no. 4, pp. 504–515. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(02\)00086-6](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(02)00086-6)
- Kaller, C. P., Rahm, B., Spreer, J. et al. (2011) Dissociable contributions of left and right dorsolateral prefrontal cortex in planning. *Cerebral Cortex*, vol. 21, no. 2, pp. 307–317. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhq096>
- Keenan, J. P., Wheeler, M. A., Gallup Jr, G. G., Pascual-Leone, A. (2000) Self-recognition and the right prefrontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 4, no. 9, pp. 338–344. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01521-7](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01521-7)
- Kucyi, A., Moayed, M., Weissman-Fogel, I. et al. (2012) Hemispheric asymmetry in white matter connectivity of the temporoparietal junction with the insula and prefrontal cortex. *PLoS One*, vol. 7, no. 4, article e35589. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035589>
- Macaluso, E. (2010) Orienting of spatial attention and the interplay between the senses. *Cortex*, vol. 46, no. 3, pp. 282–297. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.05.010>
- Macaluso, E., Driver, J. (2005) Multisensory spatial interactions: A window onto functional integration in the human brain. *Trends in Neuroscience*, vol. 28, no. 5, pp. 264–271. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tins.2005.03.008>
- Mars, R. B., Neubert, F., Noonan, M. P. et al. (2012) On the relationship between the “default mode network” and the “social brain”. *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 6, article 189. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00189>
- Melzack, R. (1990) Phantom limbs and the concept of a neuromatrix. *Trends in Neurosciences*, vol. 13, no. 3, pp. 88–92. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(90\)90179-e](https://doi.org/10.1016/0166-2236(90)90179-e)
- Mikulasch, F. A., Rudelt, L., Wibral, M., Piesemann, V. (2023) Where is the error? Hierarchical predictive coding through dendritic error computation. *Trends in Neurosciences*, vol. 46, no. 1, pp. 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2022.09.007>

- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., Macko, K. A. (1983) Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, vol. 6, pp. 414–417. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(83\)90190-X](https://doi.org/10.1016/0166-2236(83)90190-X)
- Morgan, M., Bradshaw, J. L., Phillips, J. G. et al. (1994) Effect of hand and age on abductive and adductive movements: A kinematic analysis. *Brain Cognition*, vol. 25, no. 2, pp. 194–206. <https://doi.org/10.1006/brcg.1994.1030>
- Morin, A., Michaud, J. (2007) Self-awareness and the left inferior frontal gyrus: Inner speech use during self-related processing. *Brain Research Bulletin*, vol. 74, no. 6, pp. 387–396. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2007.06.013>
- Northoff, G., Bermpohl, F. (2004) Cortical midline structures and the self. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 8, no. 3, pp. 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.01.004>
- O'Reilly, R. C. (2010) The What and How of prefrontal cortical organization. *Trends in Neurosciences*, vol. 33, no. 8, pp. 355–361. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2010.05.002>
- Paillard, J. (1991) Motor and representational framing of space. In: J. Paillard (ed.). *Brain and Space*. Oxford: Oxford University Press, pp. 163–182.
- Pérennou, D. A., Leblond, C., Amblard, B. et al. (2000) The polymodal sensory cortex is crucial for controlling lateral postural stability: Evidence from stroke patients. *Brain Research Bulletin*, vol. 53, no. 3, pp. 359–365. [https://doi.org/10.1016/s0361-9230\(00\)00360-9](https://doi.org/10.1016/s0361-9230(00)00360-9)
- Pinker, S. (1994) *The language instinct: How the mind creates language*. New York: William Morrow and Company Publ., 483 p.
- Reed, C. L., Klatzky, R. L., Halgren, E. (2005) What vs. where in touch: An fMRI study. *NeuroImage*, vol. 25, no. 3, pp. 718–726. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.11.044>
- Ries, S. K., Piai, V., Perry, D. et al. (2019) Roles of ventral versus dorsal pathways in language production: An awake language mapping study. *Brain and Language*, vol. 191, pp. 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2019.01.001>
- Rizzo, J., Hosseini, M., Wong, E. A. et al. (2017) The intersection between ocular and manual motor control: Eye-hand coordination in acquired brain injury. *Frontiers in Neurology*, vol. 8, no. 1, article 227. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00227>
- Rolls, E., Feng, J., Zhang, R. (2024) Selective activations and functional connectivities to the sight of faces, scenes, body parts and tools in visual and non-visual cortical regions leading to the human hippocampus. *Brain Structure and Function*, vol. 229, no. 6, pp. 1471–1493. <https://doi.org/10.1007/s00429-024-02811-6>
- Romanski, L. M., Tian, B., Fritz, J. et al. (1999) Dual streams of auditory afferents target multiple domains in the primate prefrontal cortex. *Nature Neuroscience*, vol. 2, no. 12, pp. 1131–1136. <https://doi.org/10.1038/16056>
- Rosenbaum, D. (2010) *Human Motor Control*. Amsterdam: Elsevier Publ., 528 p.
- Sainburg, R. L., Duff, S. V. (2006) Does motor lateralization have implications for stroke rehabilitation? *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 43, no. 3, pp. 311–322. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2005.01.0013>
- Samson, D., Apperly, I., Chiavarino, C., Humphreys, G. H. (2004) Left temporoparietal junction is necessary for representing someone else's belief. *Nature Neuroscience*, vol. 7, no. 5, pp. 499–500. <https://doi.org/10.1038/nn1223>
- Saxe, R., Kanwisher, N. (2003) People thinking about thinking people: The role of the temporo-parietal junction in “theory of mind”. *NeuroImage*, vol. 19, no. 4, pp. 1835–1842. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(03\)00230-1](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(03)00230-1)
- Schaefer, S. Y., Haaland, K. Y., Sainburg, R. L. (2009) Hemispheric specialization and functional impact of ipsilesional deficits in movement coordination and accuracy. *Neuropsychologia*, vol. 47, no. 13, pp. 2953–2966. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.025>
- Schumacher, F. K., Schumacher, L. V., Schelter, B. O., Kaller, C. P. (2019) Functionally dissociating ventro-dorsal components within the rostro-caudal hierarchical organization of the human prefrontal cortex. *Neuroimage*, vol. 185, pp. 398–407. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.10.048>
- Serrien, D. J., Ivry, R. B., Swinnen, S. P. (2007) Dynamics of hemispheric specialization and integration in the context of motor control. *Nature Reviews Neurosciences*, vol. 7, pp. 160–166. <https://doi.org/10.1038/nrn1849>
- Sheth, B. R., Young, R. (2016) Two visual pathways in primates based on sampling in space: exploitation and exploration of visual information. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, vol. 10, article 37. <https://doi.org/10.3389/fnint.2016.00037>
- Vallar, G., Lobel, E., Galati, G. et al. (1999) A fronto-parietal system for computing the egocentric spatial frame of reference in humans. *Experimental Brain Research*, vol. 124, no. 3, pp. 281–286. <https://doi.org/10.1007/s002210050624>
- Van Dyck, C. H., Seibyl, J. P., Malison, R. T. et al. (2002) Age-related decline in dopamine transporters: Analysis of striatal subregions, nonlinear effects, and hemispheric asymmetries. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, vol. 10, pp. 36–43.
- Vossel, S., Geng, J. J., Fink, G. R. (2014) Dorsal and ventral attention systems: Distinct neural circuits but collaborative roles. *Neuroscientist*, vol. 20, no. 2, pp. 150–159. <https://doi.org/10.1177/1073858413494269>
- Wilson, F. A., O'Scalaidhe, S. P., Goldman-Rakic, P. S. (1993) Dissociation of object and spatial processing domains in primate prefrontal cortex. *Science*, vol. 260, pp. 1955–1958. <https://doi.org/10.1126/science.8316836>
- Yi, K., Heo, J., Hong, J., Kim, C. (2022) The role of the right prefrontal cortex in the retrieval of weak representations. *Science Reports*, vol. 12, no. 1, article 4537. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08493-6>

Zhao, J., Wang, J., Huang, C., Liang, P. (2022) Involvement of the dorsal and ventral attention networks in visual attention span. *Human Brain Mapping*, vol. 43, no. 6, pp. 1941–1954. <https://doi.org/10.1002/hbm.25765>

## References

- Abu-Akel, A. (2003) A neurobiological mapping of theory of mind. *Brain Research Reviews*, vol. 43, no. 1, pp. 29–40. [https://doi.org/10.1016/s0165-0173\(03\)00190-5](https://doi.org/10.1016/s0165-0173(03)00190-5) (In English)
- Alam, T. R. J. G., Arias, C., Jefferies, E. et al. (2024) Ventral and dorsal aspects of the inferior frontal-occipital fasciculus support verbal semantic access and visually-guided behavioural control. *Brain Structure & Function*, vol. 229, no. 1, pp. 207–221. <https://doi.org/10.1007/s00429-023-02729-5> (In English)
- Anokhin, P. K. (1980) *Uzlovoye voprosy teorii funktsional'noy systemy [Nodal issues of the theory of a functional system]*. Moscow: Nauka Publ., 200 p. (In Russian)
- Apperly, D., Humphreys, C. (2004) Left temporoparietal junction is necessary for representing someone else's belief. *Nature Neuroscience*, vol. 7, no. 5, pp. 499–500. <https://dx.doi.org/10.1038/nn1223> (In English)
- Aron, A. R., Robbins, T. W., Poldrack, R. A. (2014) Inhibition and the right inferior frontal cortex: One decade on. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 18, no. 4, pp. 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.003> (In English)
- Badre, D., Wagner, A. D. (2007) Left ventrolateral prefrontal cortex and the cognitive control of memory. *Neuropsychologia*, vol. 45, no. 13, pp. 2883–2901. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.06.015> (In English)
- Bagesteiro, L. B., Sainburg, R. L. (2003) Nondominant arm advantages in load compensation during rapid elbow joint movements. *Journal of Neurophysiology*, vol. 90, no. 3, pp. 1503–1513. <https://doi.org/10.1152/jn.00189.2003> (In English)
- Barrett, D., Hall, A. (2006) Response preferences for “what” and “where” in human non-primary auditory cortex. *NeuroImage*, vol. 32, no. 2, pp. 968–977. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.03.050> (In English)
- Bartoli, E., Aron, A. R., Tandon, N. (2018) Topography and timing of activity in right inferior frontal cortex and anterior insula for stopping movement. *Human Brain Mapping*, vol. 39, no. 1, pp. 189–203. <https://doi.org/10.1002/hbm.23835> (In English)
- Berlucchi, G., Aglioti, S. (1997) The body in the brain: Neural bases of corporeal awareness. *Trends in Neurosciences*, vol. 20, no. 12, pp. 560–564. [https://doi.org/10.1016/s0166-2236\(97\)01136-3](https://doi.org/10.1016/s0166-2236(97)01136-3) (In English)
- Berndt, M., Bäuml, J. G., Menegaux, A. et al. (2019) Impaired structural connectivity between dorsal attention network and pulvinar mediates the impact of premature birth on adult visual–spatial abilities. *Human Brain Mapping*, vol. 40, no. 14, pp. 4058–4071. <https://doi.org/10.1002/hbm.24685> (In English)
- Bernstein, N. A. (1966) *Ocherki po fiziologii dvizheniy i fiziologii aktivnosti [Essays on the physiology of movements and the physiology of activity]*. Moscow: Medicine Publ., 349 p. (In Russian)
- Bernstein, N. A. (1997) *Biomekhanika i fiziologiya dvizheniy. Izbrannye psikhologicheskie trudy [Biomechanics and physiology of movements. Selected psychological works]*. Voronezh; Moscow: MODEK Publ., Institute of Practical Psychology Publ., 608 p. (In Russian)
- Berthoz, A. (1991) Reference frames for the perception and control of movement. In: J. Paillard (ed.). *Brain and Space*. Oxford: Oxford University Press, pp. 81–111. (In English)
- Bobrova, E. V. (2008) Sovremennye predstavleniya o korkovykh mekhanizmax i mezhpolutsharnoy asimmetrii kontrolya pozy (Obzor literatury po probleme) [Cortical control of posture and brain asymmetry: A review]. *Zhurnal Vyshey Nervnoy Deyatelnosti im. I. P. Pavlova*, vol. 58, no. 6, pp. 12–27. (In Russian)
- Bobrova, E. V., Bogacheva, I. N., Lyakhovetskii, V. A. (2015a) Zapominanie posledovatel'nostej dvizhenij pravoy i levoj ruki pravshami i levshami [Memorization of sequences of movements of the right or the left hand by right- and left-handers]. *Fiziologiya cheloveka*, vol. 41, no. 6, pp. 70–77. <https://doi.org/10.7868/S0131164615040050> (In Russian)
- Bobrova, E. V., Bogacheva, I. N., Lyakhovetskii, V. A. et al. (2017) Zapominanie posledovatel'nostej dvizhenij pravoy i levoj ruki pravshami i levshami: vektornoe kodirovanie [Memorization of sequences of right and left hand movements in right- and left-handers: Vector coding]. *Fiziologiya cheloveka*, vol. 43, no. 1, pp. 18–27. <https://doi.org/10.7868/S0131164617010039> (In Russian)
- Bobrova, E. V., Lyakhovetskii V. A., Bogacheva, I. N. (2015b) Obuchenie i zauchivanie zapomnennykh posledovatel'nostej dvizhenij pravoy i levoj ruki [Learning and repetitive reproduction of memorized sequences by the right and the left hand]. *Zhurnal Vyshey Nervnoy Deyatelnosti im. I. P. Pavlova*, vol. 65, no. 2, pp. 212–221. <https://doi.org/10.7868/S0044467715020045> (In Russian)
- Bobrova, E. V., Lyakhovetsky, V. A., Borshchevskaya, E. R. (2010) Rol' pravoy ruki v zapominanii prostranstvennoy uporyadochennosti tseley pri vosproizvedenii posledovatel'nosti dvizhenij [Storing of spatial order of targets during reproduction of movement sequence: The role of the right hand]. *Zhurnal vyshey nervnoy deyatelnosti im. I. P. Pavlova*, vol. 60, no. 2, pp. 162–165. (In Russian)

- Bobrova, E. V., Lyakhovetsky, V. A., Borshchevskaya, E. R. (2011) Rol' "predistorii" v vosproizvedenii posledovatel'nosti dvizhenij pravoy i levoj ruki: kodirovanie polozhenij, dvizhenij, struktury elementov posledovatel'nosti [Influence of "prehistory" of sequential movements of the right and the left hand of reproduction: Coding of positions, movements, sequence structure]. *Zhurnal vyshey nervnoy deyatelnosti im. I. P. Pavlova*, vol. 61, no. 5, pp. 565–572. (In Russian)
- Bobrova, E. V., Lyakhovetsky, V. A., Skopin, G. N. (2012) Obuchenie vosproizvedeniyu posledovatel'nostey dvizhenij pravoy i levoj ruki: kodirovanie polozheniy i dvizheniy [Learning of reproduction of random sequences by the right and the left hand movements: Coding of positions or movements]. *Zhurnal vyshey nervnoy deyatelnosti im. I. P. Pavlova*, vol. 62, no. 4, pp. 422–430. (In Russian)
- Carnahan, H., Elliott, D. (1987) Pedal asymmetry in the reproduction of spatial locations. *Cortex*, vol. 23, no. 1, pp. 157–159. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(87\)80028-x](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(87)80028-x) (In English)
- Chavan, C., Mouthon, M., Draganski, B. et al. (2015) Differential patterns of functional and structural plasticity within and between inferior frontal gyri support training-induced improvements in inhibitory control proficiency. *Human Brain Mapping*, vol. 36, no. 7, pp. 2527–2543. <https://doi.org/10.1002/hbm.22789> (In English)
- Cheng, S., Qiu, X., Li, S. et al. (2022) Different roles of the left and right ventrolateral prefrontal cortex in cognitive reappraisal: An online transcranial magnetic stimulation study. *Frontiers in Human Neuroscience*, no. 16, article 928077. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.928077> (In English)
- Cheung, V. K. M., Meyer, L., Friederici, A. D., Koelsh, S. (2018) The right inferior frontal gyrus processes nested non-local dependencies in music. *Science Reports*, vol. 8, no. 1, article 3822. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22144-9> (In English)
- Corballis, M. (1998) Cerebral asymmetry: Motoring on. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 2, no. 4, pp. 152–157. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(98\)01156-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(98)01156-5) (In English)
- Corbetta, M., Patel, G., Shulman, G. L. (2008) The reorienting system of the human brain: From environment to theory of mind. *Neuron*, vol. 58, no. 3, pp. 306–324. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.04.017> (In English)
- Corbetta, M., Shulman, G. L. (2002) Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neurosciences*, vol. 3, no. 3, pp. 201–215. <https://doi.org/10.1038/nrn755> (In English)
- Critchley, M. (1979) *The Divine Banquet of the Brain and Other Essays*. New York: Raven Press, 267 p. (In English)
- Decety, J., Lamm, C. (2007) The role of the right temporoparietal junction in social interaction: How low-level computational processes contribute to meta-cognition. *The Neuroscientist*, vol. 13, no. 6, pp. 580–593. <https://doi.org/10.1177/1073858407304654> (In English)
- Domenech, P., Koechlin, E. (2015) Executive control and decision-making in the prefrontal cortex. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, vol. 1, pp. 101–106/ <https://doi.org/10.1016/j.Cobeha.2014.10.007> (In English)
- Downing, P. E., Jiang, Y., Shuman, M., Kanwisher, N. (2001) A cortical area selective for visual processing of the human body. *Science*, vol. 293, no. 5539, pp. 2470–2473. <https://doi.org/10.1126/science.1063414> (In English)
- Gallagher, H. L., Happé, F., Brunswick, N. et al. (2000). Reading the mind in cartoons and stories: An fMRI study of 'theory of mind' in verbal and nonverbal tasks. *Neuropsychologia*, vol. 38, no. 1, pp. 11–21. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(99\)00053-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00053-6) (In English)
- Glezer, V. D. (1985) *Zrenie i myshlenie [Vision and thinking]*. Leningrad: Nauka Publ., 246 p. (In Russian)
- Glezer, V. D. (1993) *Zrenie i myshlenie [Vision and thinking]*. 2<sup>nd</sup> ed. Saint-Petersburg: Nauka Publ., 285 p. (In Russian)
- Glezer, V. D. (1995) *Vision and mind: Modeling mental functions*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publ., 281 p. (In English)
- Glick, S. D., Ross, D. A., Hough, L. B. (1982) Lateral asymmetry of neurotransmitters in human brain. *Brain Research*, vol. 234, pp. 53–63. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(82\)90472-3](https://doi.org/10.1016/0006-8993(82)90472-3) (In English)
- Goodale, M. A., Milner, A. D. (1992) Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, no. 15, pp. 20–25. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(92\)90344-8](https://doi.org/10.1016/0166-2236(92)90344-8) (In English)
- Gurfinkel, V. S., Levik, Yu. S. (1991) Kontseptsiya skhemy tela i motornij kontrol' [The concept of body schema and motor control]. In: A. V. Chernavsky (ed.). *Intellektual'nye protsessy i ikh modelirovanie. Organizatsiya dvizhenij [Intellectual processes and their modeling. The organization of movements]*. Moscow: Nauka Publ., pp. 59–105. (In Russian)
- Gurfinkel, V. S., Levik, Yu. S. (1999) Myshechnaya retseptsiya i obobschennoe opisanie polozheniya tela [Muscle reception and generalized description of body position]. *Fiziologiya cheloveka*, vol. 25, no. 1, pp. 87–97. (In Russian)
- Haaland, K. Y., Prestopnik, J. L., Knight, R. T., Lee, R. R. (2004) Hemispheric asymmetries for kinematic and positional aspects of reaching. *Brain*, vol. 127, no. 5, pp. 1145–1158. <https://doi.org/10.1093/brain/awh133> (In English)

- Halsband, U., Lange, R. K. (2006) Motor learning in man: A review of functional and clinical studies. *Journal of Physiology-Paris*, vol. 99, no. 4-8, pp. 414–424. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2006.03.007> (In English)
- Hannah, R., Muralidharan, V., Sundby, K. K., Aron, A. R. (2020) Temporally-precise disruption of prefrontal cortex informed by the timing of beta bursts impairs human action-stopping. *NeuroImage*, vol. 222, no. 15, article 117222. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117222> (In English)
- Head, H., Holmes, G. (1911) Sensory disturbances from cerebral lesions. *Brain*, vol. 34, no. 2-3, pp. 102–254. <https://doi.org/10.1093/brain/34.2-3.102> (In English)
- Hyvarinen, J. (1977) *Parietal cortex*. Berlin: Pergamon Press., 250 p. (In English)
- Hyvarinen, J., Shelepin, Y. (1979) Distribution of visual and somatic functions in the parietal associative area 7 of the monkey. *Brain Research*, vol. 169, no. 3, pp. 561–564. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(79\)90404-9](https://doi.org/10.1016/0006-8993(79)90404-9) (In English)
- Iacoboni, M. (2005) Neural mechanisms of imitation. *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 15, no. 6, pp. 632–637. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2005.10.010> (In English)
- Ivanenko, Y., Gurfinkel, V. S. (2018) Human postural control. *Frontiers in Neuroscience*, vol. 20, no. 12, pp. 171–180. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00171> (In English)
- Jager, G., Postma, A. (2003) On the hemispheric specialization for categorical and coordinate spatial relations: A review of the current evidence. *Neuropsychologia*, vol. 41, pp. 504–515. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(02\)00086-6](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(02)00086-6) (In English)
- Kaller, C. P., Rahm, B., Spreer, J. et al. (2011) Dissociable contributions of left and right dorsolateral prefrontal cortex in planning. *Cerebral Cortex*, vol. 21, no. 2, pp. 307–317. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhq096> (In English)
- Keenan, J. P., Wheeler, M. A., Gallup Jr, G. G., Pascual-Leone, A. (2000) Self-recognition and the right prefrontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 4, no. 9, pp. 338–344. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01521-7](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01521-7) (In English)
- Kucyi, A., Moayed, M., Weissman-Fogel, I. et al. (2012) Hemispheric asymmetry in white matter connectivity of the temporoparietal junction with the insula and prefrontal cortex. *PLoS One*, vol. 7, no. 4, article e35589. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035589> (In English)
- Luria, A. R. (1973) *Osnovy nejrpsikhologii [Fundamentals of neuropsychology]*. Moscow: Moscow University Publ., 375 p. (In Russian)
- Lyakhovetskii, V. A., Bobrova, E. V. (2009) Vosproizvedenie zapomnennoi posledovatel'nosti dvizhenij pravoj i levoj ruki: pozitsionnoe i vektornoe kodirovanie [Sequence acquisition by the right and the left hands: Positional and vector coding]. *Zhurnal Vyshey Nervnoy Deyatel'nosti im. I. P. Pavlova*, vol. 59, no. 1, pp. 45–54. (In Russian)
- Lyakhovetskii, V. A., Bobrova, E. V., Skopin, G. N. (2012) Oshibki perestанovok pri obuchenii vosproizvedeniyu posledovatel'nostej dvizhenij pravoj i levoj ruki: kodirovanie polozhenij i dvizhenij [Transposition errors during learning to reproduce a sequence by the right- and the left-hand movements: Simulation of positional and movement coding]. *Zhurnal Vyshey Nervnoy Deyatel'nosti im. I. P. Pavlova*, vol. 62, no. 6, pp. 681–691. (In Russian)
- Lyakhovetsky, V. A., Karpinskaya, V. Yu., Bobrova, E. V. (2015) Vyyavlenie skhemy prostranstvennogo kodirovaniya po raspredeleniyu oshibok pamyati cheloveka [Identification of the spatial coding scheme for the distribution of human memory]. *Zhurnal Vyshey Nervnoy Deyatel'nosti im. I. P. Pavlova*, vol. 65, no. 4, pp. 429–435. <https://doi.org/10.7868/S0044467715040085> (In Russian)
- Macaluso, E. (2010) Orienting of spatial attention and the interplay between the senses. *Cortex*, vol. 46, no 3, pp. 282–297. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.05.010> (In English)
- Macaluso, E., Driver, J. (2005) Multisensory spatial interactions: A window onto functional integration in the human brain. *Trends in Neuroscience*, vol. 28, no. 5, pp. 264–271. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tins.2005.03.008> (In English)
- Mars, R. B., Neubert, F., Noonan, M. P. et al. (2012) On the relationship between the “default mode network” and the “social brain”. *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 6, article 189. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00189> (In English)
- Melzack, R. (1990) Phantom limbs and the concept of a neuromatrix. *Trends in Neurosciences*, vol. 13, no. 3, pp. 88–92. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(90\)90179-e](https://doi.org/10.1016/0166-2236(90)90179-e) (In English)
- Mikulasch, F. A., Rudelt, L., Wibral, M., Priesemann, V. (2023) Where is the error? Hierarchical predictive coding through dendritic error computation. *Trends in Neurosciences*, vol. 46, no. 1, pp. 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2022.09.007> (In English)
- Minskiy, M. (1978) Struktura dlya predstavleniya zreniya. [Structure to represent vision]. In: P. Winston (ed.). *Psikhologiya mashinnogo zreniya [Machine vision psychology]*. Moscow: Mir Publ., pp. 249–338. (In Russian)
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., Macko, K. A. (1983) Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, vol. 6, pp. 414–417. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(83\)90190-X](https://doi.org/10.1016/0166-2236(83)90190-X) (In English)

- Morgan, M., Bradshaw, J. L., Phillips, J. G. et al. (1994) Effect of hand and age on abductive and adductive movements: a kinematic analysis. *Brain Cognition*, vol. 25, no. 2, pp. 194–206. <https://doi.org/10.1006/brcg.1994.1030> (In English)
- Morin, A., Michaud, J. (2007) Self-awareness and the left inferior frontal gyrus: Inner speech use during self-related processing. *Brain Research Bulletin*, vol. 74, no. 6, pp. 387–396. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2007.06.013> (In English)
- Northoff, G., Bermpohl, F. (2004) Cortical midline structures and the self. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 8, no. 3, pp. 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.01.004> (In English)
- O'Reilly, R. C. (2010) The What and How of prefrontal cortical organization. *Trends in Neurosciences*, vol. 33, no. 8, pp. 355–361. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2010.05.002> (In English)
- Paillard, J. (1991) Motor and representational framing of space. In: J. Paillard (ed.). *Brain and Space*. Oxford: Oxford University Press, pp. 163–182. (In English)
- Pérennou, D. A., Leblond, C., Amblard, B. et al. (2000) The polymodal sensory cortex is crucial for controlling lateral postural stability: Evidence from stroke patients. *Brain Research Bulletin*, vol. 53, no. 3, pp. 359–365. [https://doi.org/10.1016/s0361-9230\(00\)00360-9](https://doi.org/10.1016/s0361-9230(00)00360-9) (In English)
- Pinker, S. (1994) *The language instinct: How the mind creates language*. New York: William Morrow and Company Publ., 483 p. (In English)
- Reed, C., Klatzky, R., Halgren, E. (2005) What vs. where in touch: An fMRI study. *NeuroImage*, vol. 25, no. 3, pp. 718–726. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.11.044> (In English)
- Ries, S. K., Piai, V., Perry, D., et al. (2019) Roles of ventral versus dorsal pathways in language production: An awake language mapping study. *Brain and Language*, vol. 191, pp. 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2019.01.001> (In English)
- Rizzo, J., Hosseini, M., Wong, E. A. et al. (2017) The intersection between ocular and manual motor control: Eye-hand coordination in acquired brain injury. *Frontiers in Neurology*, vol. 8, no. 1, article 227. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00227> (In English)
- Rolls, E. T., Feng, J., Zhang, R. (2024) Selective activations and functional connectivities to the sight of faces, scenes, body parts and tools in visual and non-visual cortical regions leading to the human hippocampus. *Brain Structure and Function*, vol. 229, no. 6, pp. 1471–1493. <https://doi.org/10.1007/s00429-024-02811-6> (In English)
- Romanski, L. M., Tian, B., Fritz, J. et al. (1999) Dual streams of auditory afferents target multiple domains in the primate prefrontal cortex. *Nature Neuroscience*, vol. 2, no. 12, pp. 1131–1136. <https://doi.org/10.1038/1605> (In English)
- Rosenbaum, D. (2010) *Human Motor Control*. Amsterdam: Elsevier Publ., 528 p. (In English)
- Sainburg, R. L., Duff, S. V. (2006) Does motor lateralization have implications for stroke rehabilitation? *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 43, no. 3, pp. 311–322. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2005.01.0013> (In English)
- Samson, D., Apperly, I., Chiavarino, C., Humphreys, G. W. (2004) Left temporoparietal junction is necessary for representing someone else's belief. *Nature Neuroscience*, vol. 7, no. 5, pp. 499–500. <https://doi.org/10.1038/nn1223> (In English)
- Saxe, R., Kanwisher, N. (2003) People thinking about thinking people: The role of the temporo-parietal junction in “theory of mind”. *NeuroImage*, vol. 19, no. 4, pp. 1835–1842. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(03\)00230-1](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(03)00230-1) (In English)
- Schaefer, S. Y., Haaland, K. Y., Sainburg, R. L. (2009) Hemispheric specialization and functional impact of ipsilesional deficits in movement coordination and accuracy. *Neuropsychologia*, vol. 47, no. 13, pp. 2953–2966. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.025> (In English)
- Schumacher, F. K., Schumacher, L. V., Schelter, B. O., Kaller, C. P. (2019) Functionally dissociating ventro-dorsal components within the rostro-caudal hierarchical organization of the human prefrontal cortex. *Neuroimage*, vol. 185, pp. 398–407. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.10.048> (In English)
- Serrien, D. J., Ivry, R. B., Swinnen, S. P. (2007) Dynamics of hemispheric specialization and integration in the context of motor control. *Nature Reviews Neurosciences*, vol. 7, pp. 160–166. <https://doi.org/10.1038/nrn1849> (In English)
- Sheth, B. R., Young, R. (2016) Two visual pathways in primates based on sampling in space: exploitation and exploration of visual information. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, vol. 10, article 37. <https://doi.org/10.3389/fnint.2016.00037> (In English)
- Vallar, G., Lobel, E., Galati, G. et al. (1999) A fronto-parietal system for computing the egocentric spatial frame of reference in humans. *Experimental Brain Research*, vol. 124, no. 3, pp. 281–286. <https://doi.org/10.1007/s002210050624> (In English)
- Van Dyck, C. H., Seibyl, J. P., Malison, R. T. et al. (2002) Age-related decline in dopamine transporters: Analysis of striatal subregions, nonlinear effects, and hemispheric asymmetries. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, vol. 10, pp. 36–43. (In English)

- Vossel, S., Geng, J. J., Fink, G. R. (2014) Dorsal and ventral attention systems: Distinct neural circuits but collaborative roles. *Neuroscientist*, vol. 20, no. 2, pp. 150–159. <https://doi.org/10.1177/1073858413494269> (In English)
- Wilson, F. A., O'Scalaidhe, S. P., Goldman-Rakic, P. S. (1993) Dissociation of object and spatial processing domains in primate prefrontal cortex. *Science*, vol. 260, pp. 1955–1958. <https://doi.org/10.1126/science.8316836> (In English)
- Yi, K., Heo, J., Hong, J., Kim, C. (2022) The role of the right prefrontal cortex in the retrieval of weak representations. *Science Reports*, vol. 12, no. 1, article 4537. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08493-6> (In English)
- Zhao, J, Wang, J, Huang, C., Liang, P. (2022) Involvement of the dorsal and ventral attention networks in visual attention span. *Human Brain Mapping*, vol. 43, no. 6, pp. 1941–1954. <https://doi.org/10.1002/hbm.25765> (In English)