

УДК 612.821

DOI 10.34014/2227-1848-2025-3-20-40

## СЕНСОРНАЯ ПОЛИМОДАЛЬНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА

А.А. Артеменков

ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет», г. Череповец, Россия

*В данной статье на основе проанализированных публикаций из научной электронной библиотеки eLibrary.RU и базы данных PubMed, находящихся в открытом доступе, сформулированы представления автора о механизмах полимодальной интеграции когнитивной деятельности и поведения человека при его взаимодействии с внешним миром. Раскрыты основные теоретические положения полимодальной интеграции, согласно которым мозг человека функционирует на основе объединения рефлекторных дуг в многовариантную систему нервных связей. Распад этой системы полимодальных связей происходит в результате дезинтеграции нервных процессов, лежащей в основе соматовегетативной патологии. Полимодальная интеграция в мозге человека также синхронизирует физиологические процессы организма и проявляется в виде многовариантности когнитивной деятельности и поведения. Полимодальность и многовариантность взаимосвязей между соматовегетативными показателями заключаются в интегративной функции нейронов мозга, объединяющихся в нервные цепи не хаотично, а направленно, на основе взаимодействия значимых внешне-средовых стимулов, для обеспечения осознанной ответной реакции организма. Полимодальная интеграция сенсорных сигналов является основой всей когнитивной деятельности человека, познания им окружающей действительности и социального поведения в обществе. Таким образом, общее представление о полимодальной интеграции позволяет расширить понимание об интегративной деятельности мозга человека как сложной многофункциональной системы «Человек в среде». «Глубина» научного поиска также привела к пониманию того, что на уровне сенсорной полимодальной интеграции в мозге человека осуществляется взаимосвязь физиологических и психических процессов осознания происходящих в жизни событий. Эти знания послужат базой для создания новых нейропатологических моделей нарушения процессов взаимодействия человека и среды обитания, что в дальнейшем позволит понять истинные механизмы работы высших интегративных систем мозга человека.*

**Ключевые слова:** среда обитания, человек, поведение, когнитивная деятельность, полимодальная интеграция, сознательный выбор, дезинтеграция.

**Введение.** С нейробиологической точки зрения мозг человека можно представить как универсальный орган, созданный природой в процессе эволюции не только для регулирования функций организма, но и для получения новых знаний и социальной жизни в обществе. Естественно, такой анатомически сложно устроенный орган нервной системы должен обладать способностью различать и объединять разные полимодальные сигналы, поступающие из внешней и внутренней сред организма, и модулировать их в когнитивное поведение. Но за счет каких механизмов и процессов осуществляется интегративная деятельность мозга человека? В этом вопросе и

заключается суть и смысл проблемы полимодальной интеграции когнитивной деятельности и поведения человека при его адаптации к условиям окружающей природной среды.

На наш взгляд, мозг человека функционирует в течение всей жизни, перестраивая свою работу в целях организации когнитивной деятельности и осознанного целенаправленного поведения. Именно осознанность и целенаправленность поведения обеспечивают в ходе полимодальной интеграции объединение значимых стимулов и «отсев» неподходящих сигналов. Конечно, для понимания этого процесса необходимо иметь более полное представление о сущности и значении полимо-

дальной интеграции высшей нервной деятельности человека; об устройстве и принципах работы человеческого мозга как сенсорного агрегата, состоящего из нервных структур и физиологических процессов, способных одновременно взаимодействовать друг с другом при формировании динамической системы поведения. Понятно, что процесс полимодальной интеграции не является простым сложением стимулов в ассоциативных зонах коры, поскольку в мозге одни участки возбуждаются, а другие остаются заторможенными и не работают. К тому же очень сложно обнаружить нейронные связи в разноуровневой конструкции восприятия сенсорных раздражителей. Однако уже сейчас есть понимание того, что для реализации мозгом высшей интегративной функции необходимо разнообразие таких связей. Это значит, что понять сложный динамический процесс полимодальной интеграции сейчас представляется возможным только в общем виде и только в системе «Человек в среде». Как и нельзя пока прийти к единому результату в расшифровке механизмов полимодальной интеграции. Тем не менее рассмотрим некоторые аспекты деятельности высших интегративных систем мозга человека.

**Цель исследования.** Обзор и анализ опубликованных данных о механизмах деятельности высших интегративных систем мозга человека.

**Материалы и методы.** Изучены имеющиеся в базах данных eLibrary.RU и PubMed научные публикации, касающиеся проблемы полимодальной интеграции когнитивной деятельности и поведения человека. Проанализированы обзоры клинических и нейробиологических исследований.

### **Результаты и обсуждение**

*Нейроанатомия и нейрофизиология полимодальной интеграции*

В естественно-научной литературе существует мнение о том, что живые существа, в т.ч. человек, характеризуются аутопозной организацией, так как молекулярные компоненты их тела динамически связаны между собой и со средой обитания, образуя сеть непре-

рывных взаимодействий. Сенсомоторная коррекция поведенческих реакций организма осуществляется и реализуется посредством активности межнейронной сети вставочных нейронов, поскольку последняя обладает неограниченным числом состояний и, соответственно, возможных вариантов поведения. То есть сопряжение между сенсорной и моторной областями в мозге достигается с помощью сложноорганизованной нейронной сети, конфигурация которой может варьировать в мозге в достаточно широких пределах. Следовательно, поведение животных и человека в среде обитания осуществляется через многочисленные цепи нейронной активности, что указывает на операционную замкнутость нервной системы. Иными словами, нервная система функционирует как замкнутая сеть нейронных структурных компонентов [1].

В то же время их активность напрямую зависит от количества взаимодействий организма с элементами естественной среды обитания: чем больше таких внешнесредовых взаимодействий, тем выше уровень возбуждения нервной системы и тем большее время требуется на ее восстановление до исходного состояния. Особенно чувствительной к внешним средовым воздействиям является новая кора (неокортекс), поскольку она является субстратом когнитивных процессов. Сильно увеличенная префронтальная кора позволяет человеку предвидеть и планировать будущее, проявлять гибкость мышления, реализовывать подходящие и тормозить непринятые в обществе схемы поведения [2]. То есть префронтальная кора мозга человека является высшим центром полимодальной интеграции, который управляет сложным когнитивным поведением человека. Причем уровень интеллекта и когнитивные способности зависят исключительно от числа нейронов в мозговой коре, которая является наибольшей структурой среди отделов головного мозга [3].

Однако гибкость поведения человека можно объяснить не только морфологией коры, но и двумя взаимодополняющими механизмами деятельности высшей интегративной системы мозга. Одним из них является поли-

модальность, которая непосредственно вытекает из природы организации сенсомоторных процессов, лежащих в основе поведения, а другим – параллелизм, который отражает параллельное развертывание во времени поведенческих процессов [4].

В реальной жизни человека, чтобы сформировать единое восприятие окружающего мира, мозг объединяет в первую очередь слуховую и визуальную информацию. И в этой нелинейной аудиовизуальной интеграции нейронная активность мозга наиболее выражена в левой нижней лобной извилине и левой височной областях, поскольку эти области непосредственно участвуют в понимании речи и жестов. Таким образом, повышенная нейронная активность в этих областях мозга отражает аудиовизуальную интеграцию поступающих сигналов и указывает на то, что информация речевых жестов активно взаимодействует с языковыми областями мозга [5].

Отметим, что в мозге человека происходит интеграция не только внешних и внутренних полимодальных стимулов, но и эмоциональных воздействий. Так, при исследовании нейробиологических основ эмпатии у человека выявлены важные гендерные различия в работе нервных сетей мозга, участвующих в формировании аффективных и когнитивных форм постижения эмоций другого человека. Показано, что качественные различия между полами заключаются в том, как именно эмоциональная информация интегрируется в мозге и используется для формирования процессов принятия решений [6].

Если рассматривать полимодальную интеграцию с точки зрения когнитивных предпосылок, мотивационных функций и задействованных областей мозга, то можно предположить, что такие человеческие качества, как благодарность и гордость, имеют общую основу для условно-рефлекторного подкрепления. Однако благодарность больше связана с теорией разума, а гордость – с самореферентной обработкой информации в мозге. На этой основе была предложена когнитивная нейробиологическая модель, объясняющая динамику благодарности и гордости [7].

Интересно, что посредством фМРТ-исследования также удалось изучить активность областей мозга, участвующих в обработке сенсорных стимулов, и особенности ответных реакций на эмоции других людей. Так, установлено, что просмотр счастливых и грустных людей на фотоснимках вызывал активацию областей мозга, участвующих в осознании и интеграции сенсорной информации, эмпатии и планировании действий: поясной извилины, островковой доли, нижней лобной и средней височной извилины. То есть при восприятии изображений счастливого лица показатели фМРТ были связаны преимущественно с более сильной активацией областей мозга, участвующих в осознании, сочувствии и в обработке информации о себе и другом человеке [8]. В этой связи когнитивная нейробиология может руководствоваться принципом, согласно которому существует обнаруживаемое соответствие между воспринятыми эмоциями и состояниями мозга человека. Этот факт подтверждается убедительными наблюдениями и выводами, полученными на основе регистрации событийно-связанных потенциалов мозга при функциональной визуализации людей [9].

Однако не следует забывать о нейроэндокринном компоненте полимодальной интеграции эмоций человека, поскольку любые эмоциональные реакции всегда сопровождаются изменением гормонального статуса. Конечно, нейроэндокринная система мозга представляет собой ключевой интегратор всех функций организма человека, обеспечивающий связь между его внутренними ментальными состояниями и внешним миром. Нарушение этого взаимодействия является центральным компонентом многих патологических эмоционально-поведенческих состояний [10]. Таким образом, изучение нейрогормонов, связывающих мозг и поведение воедино, необходимо для понимания ответного действия, расширения представлений о механизмах их синтеза, локального действия [11].

То есть становится все более очевидным, что в мозге человека большое количество коллатералей аксонов распространяется от гипоталамуса в другие области. Следовательно,

высшая полимодальная интегративная система «гипоталамус – окситоцин», как и другие системы моноаминов, образует богатую функциональную сеть в нескольких областях мозга. Обнаружены гетерорецепторные комплексы высокого порядка, связанные с G-белком рецептора окситоцина и посредством аллостерических взаимодействий типа «рецептор – рецептор» модулирующие потенциальное воздействие на мозг и поведение. Таким образом, полимодальная интеграция нейронных сигналов в мозге осуществляется через гетерорецепторные комплексы высокого порядка, а также рецепторы дофамина, норадреналина, серотонина или другие типы рецепторов, связанных с G-белком [12].

Кроме того, в имеющихся в нейробиологических моделях подчеркивается взаимодействие между корковыми и лимбическими областями мозга, которое модулирует процесс привыкания. Однако не надо забывать, что информационные потоки между мозгом, телом и внешней средой выступают необходимым элементом формирования любого зависимого поведения. Общая схема формирования зависимости, как правило, включает нейронную сеть, которая не только регулирует деятельность сердечно-сосудистой системы, но и получает обратную связь от периферических рецепторов сердечно-сосудистой системы через барорефлекторную петлю. Отсюда возникает необходимость проведения дополнительных физиологических, молекулярных и поведенческих исследований, касающихся интеграции нейронных и периферических сердечно-сосудистых сигналов во время переживания организмом определенных внутренних состояний и при воздействии окружающей среды, которая определяет поведение [13].

Теперь остановимся на роли базальных ганглиев в полимодальной интеграции поведенческих высших функций мозга человека. Как известно, базальные ганглии состоят из множества подкорковых ядер, участвующих в управлении моторикой и исполнительных функциях, таких как поведенческий контроль и возникновение эмоций. В частности, полосатое тело, как основной компонент базаль-

ных ганглиев, активно участвует в когнитивном планировании целенаправленных двигательных действий благодаря своим структурным особенностям и нейронным связям с корой головного мозга. В целом кортикостриатальные цепи, несущие двигательную информацию, расположены в мозге параллельно цепям, исходящим из ассоциативных и лимбических областей, и функционально интегрированы в полосатое тело. Подобная морфофункциональная интеграция между областями мозга достигается за счет моделей согласованной деятельности [14]. Так, например, нейробиологами выявлена дихотомия моторных и когнитивных функций холинергических нейронов среднего мозга, анатомически способствующая полимодальной деятельности. В частности, показано, что холинергические нейроны этого отдела мозга тесно взаимосвязаны со всеми структурами базальных ганглиев, а также с двигательными центрами ствола и продолговатого мозга. Но вопрос заключается в том, являются ли эти холинергические нейроны частью локомоторной области мозга. Впрочем, локомоторная область головного мозга человека напрямую регулирует двигательную активность и, скорее, выполняет модулирующую роль в его адаптивном поведении, включающем как двигательные, так и когнитивные процессы. Холинергические нейроны, возможно, усиливают поведенческие действия, сигнализируя о предсказании вознаграждения и формируя адаптацию в поведении во время непредвиденных обстоятельств, возникающих в окружающей среде. Другими словами, холинергические нейроны, взаимодействуя с базальными ганглиями, играют ведущую роль в контроле произвольных движений и действий [15].

Немаловажная роль в организации когнитивного поведения принадлежит и мозжечку. Структурно-функциональную интеграцию можно наблюдать в мозжечке на примере деятельности клеток Пуркинью. Цепь восходящих нервных волокон от клеток Пуркинью является одной из самых мощных и высокоспециализированных в ЦНС человека. Эти клетки оказывают мощное возбуждающее действие

на вышележащие нервные центры, что обеспечивает нормальное функционирование мозжечка. К тому же, ветвящиеся волокна и сложные спайки в мозжечке предоставляют другим отделам мозга прогнозирующие сигналы о параметрах движения, а входные сигналы ветвящихся волокон контролируют кодирование поведенческой информации при активации импульсов клетками Пуркинью [16]. То есть ядра мозжечка действуют как конечная полимодальная интегративная единица обработки сигналов в нервных сетях мозжечка, в конечном итоге контролируя временные и пространственные характеристики моторной информации. Заметим, что сама внутренняя организация мозжечка и его связь с афферентными и эфферентными путями в целостном мозге изучены довольно плохо. А ведь ядра мозжечка определяют степень конвергенции и дивергенции мозжечковых корковых путей к различным нейронам и подобластям. Такая полимодальная интегративная функция мозжечка обеспечивается мелкодисперсной топографической организацией его коры и ядер, позволяющей кодировать образы внешнего мира [17]. Таким образом, мозжечок мозга человека обеспечивает пластичность движений и реализует познавательную деятельность человека. Он также выполняет высшие интегративные функции посредством асимметричности взаимодействий. Но его функциональная асимметрия имеет довольно сложную природу и проявляется в отношении первичных двигательных и высших когнитивных функций. Эта функциональная асимметрия может быть связана с паттерном связей между большим количеством областей мозга, поскольку наиболее важную роль в латерализации функций мозжечка играют церебро-мозжечковые цепи [18].

Полимодальное взаимодействие наблюдается также в структурах верхней теменной доли мозга человека, которая выступает как анатомический сенсомоторный центр. «Разделение» этого образования мозга на корково-кортикальные и таламокортикальные связи обеспечивает его активное участие в организации физиологических и патологических процессов [19].

Например, полимодальная интеграция пищевого поведения при спонтанной физической активности, возникающей в результате термогенеза, может осуществляться гипоталамической интегративной системой мозга, так как большое количество областей мозга связано с популяциями нейротрансмиттеров. Внутримозговые связи, участвующие в регуляции пищевого поведения, действуют как центры образования энергии. Иначе говоря, существует тесная взаимосвязь между двумя видами поведения – пищевым и спонтанной физической активностью, что непосредственно влияет на потребление и расход энергии в организме. В этом отношении некоторые области мозга (например, латеральный гипоталамус) и его нейропептиды имеют особую значимость. Таким образом, нейроны латерального гипоталамуса со своими широкими проекциями и связями с другими областями мозга важны для сохранения энергетического гомеостаза и выполнения полимодальной интегративной функции мозга. Кроме того, гипоталамические орексины, как правило, участвуют как в питании, так и в спонтанной физической активности и представлены как потенциальные модели для интеграции сигналов при этих двух физиологических процессах [20]. Двигательное же поведение здоровых взрослых людей связано с полиморфизмом фермента катехол-О-метилтрансферазы, способного изменять когнитивные и поведенческие функции людей посредством регуляции доступности дофамина в префронтальной коре мозга человека [21].

Не менее важны для полимодальной интеграции когнитивного поведения и внутримозговые межфункциональные связи, поскольку они обеспечивают взаимодействие высших психических функций, особенно таких, как мышление и речь. Движение мысли к слову и обратно есть развивающийся динамический процесс, а сложные и подвижные связи и переходы между отдельными планами речевого мышления возникают только в развитии человека. Поэтому мышление и речь являются ключом к пониманию человеческого сознания [22]. У человека действительно есть более

сложные формы получения и переработки информации, чем те, которые даются восприятием. И поэтому человек обладает отвлеченным рациональным опытом и абстрактным мышлением. Этим можно объяснить возникновение у него сложных специфических (чисто человеческих) форм сознательного поведения [23]. Однако психическая деятельность мозга обусловлена взаимодействием с внешним миром. Она является отражением внешнего мира, но сама рефлекторна. Мозг – только орган психической деятельности, а не ее источник. Источником является внешний мир, воздействующий на мозг [24]. Впрочем, физиологи, в отличие от психологов, считают более перспективным направлением изучение нейронной архитектуры мозга с точки зрения изменений в паттернах функциональных связей между его конкретными областями. Так, найдены функциональные изменения в организации и топологии нервной сети, которые могут дать четкое представление о различиях в интеграции между разными функциональными состояниями мозга. То есть определено, что имеются четкие различия в полимодальной интеграции между центрами с высокой связью в преимущественно сенсомоторных/слуховых областях обработки информации во время переживания человеком своего внутреннего состояния и областях нейронной сети мозга исполнительного контроля во время выполнения какой-то внешней конкретной задачи. Такие различия между внутренней и внешней задачами связаны с изменениями в общей сетевой организации мозга, увеличением сетевой кластеризации, глобальной эффективностью и интеграцией между модулями мозга [25].

Ранее мы уже указывали на то, что ожидание подкрепления мотивирует поведение животных и человека и влияет на принятие поведенческих решений, поскольку активность нейронов во многих областях мозга модулируется предвкушаемым вознаграждением. Особая роль здесь принадлежит опять же базальным ганглиям. Благодаря значительному воздействию на двигательные области ствола мозга и таламокортикальные цепи базальные

ганглии, по-видимому, способны регулировать движения тела в случае ожидаемого подкрепления. То есть базальные ганглии играют ключевую роль в направлении взгляда к месту, где можно получить вознаграждение [26]. Возьмем к примеру полосатое тело, которое необходимо для одновременного выбора адаптивных действий и подавления возникающих неподходящих альтернатив. Современные анатомо-физиологические исследования показывают, что оно может обнаруживать дискретные сенсорные стимулы, соответствующие поставленной задаче, и постоянно отслеживать соматосенсорную информацию, связанную с генерацией простых движений и более сложных действий, интегрируя соматосенсорную информацию и двигательные сигналы на постоянной основе [27].

#### *Полимодальная соматовегетативная интеграция*

Полимодальная соматовегетативная интеграция выступает как модулятор социального поведения человека в обществе и представляет собой динамический процесс самоорганизации нервной системы, направленный на регулирование висцеральных функций и внутреннюю детерминацию поведения. Еще И.П. Павлов указывал на то, что деятельность нервной системы направлена, с одной стороны, на объединение, интеграцию работы всех частей организма, а с другой – на связь организма с окружающей средой. При этом он подчеркивал, что в коре больших полушарий мозга остаются огромные «запасы» нервных центров для образования новых временных связей. Причем занятые ранее нервные центры подвергаются изменениям для участия в другой физиологической деятельности организма. По его мнению, уже сформированная функциональная «мозаика» коры может все время пополняться и подлежит частичной перестройке [28]. Таким образом, известный русский физиолог обращает особое внимание на многофункциональность деятельности мозга, а точнее – на полимодальность нервного процесса, поскольку именно это свойство нервной системы обеспечивает постоянную корректировку поведения животных и человека в

меняющейся среде обитания. Именно средовая детерминация когнитивной деятельности и поведения является главной предпосылкой возникновения механизмов полимодальной интеграции в процессе эволюции высших животных и человека.

Способность мозга к полимодальной интеграции хорошо понимал и академик А.А. Ухтомский, который в работе «Доминанта и интегральный образ», говоря о целостной доминанте, различал в ней кортикальные и соматические компоненты и акцентировал внимание на том, что реальный жизненный опыт человека всегда имеет дело с интегральными образами. К тому же всякий интегральный образ является продуктом пережитой доминанты [29]. Конечно, формируемые в мозге интегральные образы организуют поведение человека в нужном направлении. Но эти образы возникают не спонтанно, не сами по себе, а являются результатом полимодальной интеграции, т.е. результатом интегративной деятельности нервных клеток (нейронов).

П.К. Анохин впервые поставил вопрос об интегративной деятельности нейрона в связи с нейрофизиологическим анализом стадии афферентного синтеза при формировании функциональной системы поведения. Если внимательно проанализировать стадию афферентного синтеза, то можно увидеть, как в ней происходит одновременная обработка многочисленных и разнообразных возбуждений, поступающих в ЦНС от различных рецепторов. Глубокое понимание афферентной полимодальной интеграции стимулов послужило основой для формулирования Анохиным понятия о степенях свободы нейрона, который представляет собой специфическое интегративное образование целостного мозга [30]. То есть каждый нейрон в нервной системе является своеобразным интегративным элементом когнитивной и поведенческой деятельности человека. Но один нейрон не в состоянии создать целостные интегральные образы окружающей действительности в мозге человека. Только лишь их совокупность и совместная работа позволяют осуществить этот процесс. Именно структурные единицы (нейроны) фор-

мируют интегративную деятельность мозга человека, имеющую средовую обусловленность.

Среди физиологов также существует мнение о том, что внутренний полимодальный анализатор начинается с чувствительных окончаний, лежащих в межклеточном пространстве висцеральных органов, и выглядит как своеобразная многомерная сеть, пронизывающая всю иннервируемую массу тела. В зависимости от характера поступающей информации, определяющей уровень работы того или иного висцерального органа, внутренняя interoцептивная сенсорная система способна в той или иной мере использовать собственные рефлексии. Эти рефлексии возникают, как правило, по мере нарастания возбуждения в ЦНС, а затем распространяются на опорно-двигательный аппарат, выходя на более высокий спинальный висцеро-соматический уровень. И лишь потом к этим рефлекторным реакциям подключаются функциональные структуры сенсорных систем [31]. Таким образом, можно наглядно видеть, как в пределах центрально-периферических рефлекторных дуг происходит передача сигнала с висцеральных органов на соматические, а затем на сенсорные нервные элементы. То есть нервные сети в пределах головного мозга и на периферии переплетаются, формируя межсенсорную полимодальную интегративную систему. Тем не менее одной из ключевых проблем интегративной физиологии является выяснение роли коры больших полушарий головного мозга в контроле автономных функций и в регуляции поведения человека. В настоящее время области автономной интеграции идентифицированы в медиальной префронтальной, островковой и орбитофронтальной коре мозга. Также рассматриваются критерии идентификации этих автономных областей, изучаются особенности их строения и образования связей с таламусом, подкорковыми и стволовыми вегетативными центрами. Как и прежде, нейрофизиологами обсуждается вопрос о функциональной специализации автономных областей коры больших полушарий головного мозга с точки зрения концепций центральной

нейровисцеральной интеграции [32]. Очевидно, что нейровисцеральная интеграция является модулятором поведения человека, поскольку восприятие любого ощущения во внутренних органах или в теле человека непременно вызывает ответные рефлекторные реакции и определенные поведенческие действия. И если мозг человека получает различные сигналы из внешней и внутренней среды организма, то за счет интеграции этих стимулов в нем создается своеобразная мультимодальная сводка. Она имеет для человека первостепенное значение, так как на ее основе формируется «прогноз» будущих социально-поведенческих событий [33].

Таким образом, можно утверждать, что социальные взаимодействия между людьми в обществе являются своеобразным физиологическим индикатором, поскольку они приводят к изменению соматовегетативных показателей организма. В частности, изменение активности мозга человека происходит в ответ на социально значимые события, что указывает на взаимосвязь различных психосоциальных факторов с вегетативными проявлениями. Следовательно, включение вегетативных компонентов в систему социального поведения людей обеспечивается в большей части парасимпатическим контуром регуляции и корково-подкорковыми структурами головного мозга, т.е. образованиями префронтальной сингулярной коры и миндалевидного тела (амигдаллы). Это обстоятельство еще раз доказывает, что нейрофизиологические процессы в ЦНС и ВНС связаны двусторонними связями, а нейровисцеральная полимодальная интеграция осуществляется в сложном иерархически организованном регуляторном контуре [34]. Таким сложно организованным контуром в мозге человека может являться сеть взаимодействующих нейронов, расположенных в различных образованиях ЦНС, объединяющая импульсные потоки для выполнения конкретных когнитивных задач и формирования целенаправленного осознанного поведения. Конечно, улучшение показателей умственных способностей у человека сопровождается ростом стрессового воздействия на ре-

гуляторные системы организма. То есть оптимальная реализация поведенческих системно-приспособительных реакций всегда обеспечивается динамическим взаимодействием функциональных систем (соматовегетативной, двигательной и психоэмоциональной) [35]. Такое объединение систем в мозге человека может осуществляться на трех уровнях полимодальной интеграции: ретикулярно-стволовом, таламическом и кортикальном – с вовлечением высших отделов префронтальной коры. Это утверждение согласуется с результатами нейровизуализации, которые четко показывают, что височно-теменная область находится на месте слияния слуховых, зрительных и лимбических потоков обработки полимодальной информации. Одной из функций этой нейронной матрицы является поддержка преобразования объектных и словесных представлений, их унимодальных восприятий, а также перевод их в мультимодальные сигналы. Объяснением этого феномена может быть следующий факт: височно-полярные области височно-теменной коры становятся не дисфункциональными, а многофункциональными [36].

Таким образом, очевидно, что в понимании нейрональных механизмов, лежащих в основе многофункциональности и многозадачности поведенческих действий человека, большая роль принадлежит полимодальной интеграции. Становится ясно, что полимодальная интеграция информационных потоков в мозге человека модулирует средовые поведенческие характеристики и связанные с ними нейрофизиологические корреляты [37].

#### *Полимодальная интеграция сознательного выбора*

Как известно, сложная когнитивная деятельность и поведение человека всегда начинаются с ощущений, которые, как указывал И.М. Сеченов, представляют собой одновременный определенный комплекс движений во внешнем мире, которому всегда соответствует определенная чувственная группа, и последовательный комплекс, которому соответствует чувственный ряд. Мысль человека, по мнению известного физиолога, также является чув-

ственным выражением нервного процесса, «пробегающего» по группе отдельных проводящих нервных путей мозга [38]. Сформировав таким образом представления о чувственных группах, Сеченов как бы предсказал полимодальную интеграцию внешних физических стимулов в мыслительную осознанную деятельность человека. Действительно, для порождения только одной мысли требуется целый ряд сложных взаимодействий между тремя структурами мозга: мозговым стволом, лимбической системой и корой больших полушарий. Каждая мысль, ощущение или переживание активируют уникальный набор взаимодействий в различных зонах мозга. То есть речь идет о нейронной синхронизации, которая характеризуется как процесс спонтанной и мгновенной коммуникации многих близлежащих и удаленных друг от друга нейронов. Так, например, медитация создает новые нейронные пути в головном мозге, усиливая коммуникацию между различными областями [39]. А система ума состоит из множества автономных иерархий, связанных между собой посредством сознания [40].

Поэтому логично, что к полимодальной интеграции причастно сознание человека, поскольку обдумывание всего происходящего всегда завершается сознательным выбором, разрешающим каждую конкретную поведенческую ситуацию. Следовательно, большая часть мозга выполняет полисенсорные функции, так как его сенсорные области способны обрабатывать разномодальные сигналы, поступающие от нескольких органов чувств. Иными словами, практически все области человеческого мозга представляют собой связанные друг с другом пластичные устройства (операторы), созданные природой для обработки информации и самых разнообразных входящих сигналов. Один такой «оператор» обрабатывает информацию о пространственном расположении предметов, другой – об их движении, третий – о формах и т.д. То есть при любой активности мозга происходит выбор группы нейронов мозга, наиболее подходящей для решения определенной задачи, что обеспечивает более эффективную обработку поступающих в мозг сигналов [41]. Именно

нейропластичность является основой для формирования нового этапа когнитивной цефализации у человека, живущего сегодня уже в совершенно иных условиях техногенно-городской среды. Пластические структурно-функциональные изменения в нейронных сетях мозга формируют новую материальную основу для ускоренной интеграции физиологических и психических процессов и отражения окружающей действительности [42]. А деятельность всей когнитивной системы мозга человека носит круговой характер, в котором прослеживаются основные этапы обработки информации: восприятие, осознание, понимание, мышление, сознательный выбор, речь и движение [43]. В этих процессах явно усматривается не только распознавание полимодальных сигналов модулями коры, но и их детальное осознание.

Среди современных исследователей когнитивной деятельности человека существует мнение о том, что в коре головного мозга имеются распознающие модули. Они расположены очень близко друг к другу, формируются постепенно в течение жизни в зависимости от образов, которые приходится человеку распознавать. Каждый распознающий модуль кортикальной колонки содержит около 100 нейронов, а всего в новой коре имеется около 300 млн распознающих модулей, каждый из которых включает дендриты, посылающие сигналы в этот модуль, и имеет один аксонный выход [44].

Идея наличия распознающих модулей новой коры в целом согласуется с принципами коннектомики, поскольку в мозге человека каждый нейрон имеет характерное местоположение, форму и множество нервных связей. Как выяснилось, все нейроны в мозге подключены друг к другу и образуют иерархически организованную нейронную сеть. Чем выше расположен нейрон в этой иерархической сети, тем более сложные раздражители он способен распознавать. В итоге мы имеем многослойную модель нейронной сети – перцептрон, а также модель нейронной сети зрительного восприятия – неокогнитрон [45].

Однако нейронную сеть можно рассматривать не только как коннектом, но и как когнитом, т.е. как гиперсеть, состоящую из

нейронных групп со специфическими когнитивными свойствами. Сама же структура когнитива как бы тождественна структуре разума, а сознание есть специфический процесс широкомасштабной интеграции когнитивных элементов в этой нейронной гиперсети [46].

Отсюда становится очевидным, что нейронная сеть (или гиперсеть) способна избирательно участвовать в восприятии предметов окружающей среды, необходимых для организации высшей нервной деятельности. Это можно наблюдать при восприятии человеком цвета внешних объектов, когда наибольшее значение для запуска эмоционального поведения имеют хроматуры, обладающие разным рельефом, информирующие человека о том, как действовать в каждой конкретной ситуации и предупреждающие о том, чего следует ожидать. Иначе говоря, восприятие человека направляет все его действия в целях сохранения жизни и здоровья в процессе приспособления к окружающей среде [47].

Таким образом, мозг человека действительно является подвижной и целостной системой, связанной со множеством различных внутренних и внешних компонентов. И нет сомнения в том, что его различные компоненты взаимодействуют и интегрируются в замкнутые системы, служащие субстратом когнитивной деятельности и осознанного поведения. И все же основная функция мозга человека связана с познанием. Поэтому сложная когнитивная деятельность и поведение человека – это своеобразный узел, в котором интегрируются внешние стимулы и формируется внутренний субъективный мир человека [48]. А если мозг человека представляет собой высшую полимодальную интегративную систему, то и процесс управления в этой системе зависит от количества «подключенных» к ней внешних объектов, необходимых для достижения осознанных целей поведения. Чем выше уровень полимодальной интеграции, тем шире диапазон возможных «подключений» и преобразований окружающей действительности [49]. То есть в целостном мозге постоянно протекают процессы взаимодействия различных структурных компонентов с образованием боль-

шого количества интегративных связей высшего порядка, а поддержание гомеостаза происходит на низших уровнях интеграции [50].

Но если говорить о структурах мозга, участвующих в поддержании гомеостатического равновесия посредством полимодальной интеграции, то, вероятнее всего, первоначальным структурным компонентом этого процесса служат ветвящиеся клетки ретикулярной формации, аксоны которых переходят в нисходящем направлении к мозжечку и спинному мозгу, а в восходящем – к подкорковым структурам и коре больших полушарий. Поэтому на более высокий (таламический) уровень поступает полимодальная информация, уже прошедшая частичную обработку на нейронах ретикулярной формации. Следующим, еще более высоким, уровнем полимодальной интеграции является ассоциативная кортикальная система, к которой конвергируют нервные импульсы, уже прошедшие через таламус от сенсорных систем организма. Таким образом, полисенсорные клетки таламического уровня интеграции обеспечивают последующую вторичную модуляцию сознательного поведения. А дальнейшая (окончательная) интеграция разномодальных сигналов и формирование целостного образа действительности из множества афферентных влияний, его осознание, понимание осуществляются в ассоциативной коре. По сути, речь идет о двух анатомически сложившихся ассоциативных системах мозга: таламопариетальной и таламофронтальной, первая из которых представляет собой центральный аппарат анализа и синтеза обстановочной афферентации и предпусковой интеграции, участвующий в формировании целостного полимодального образа, а вторая выступает в качестве аппарата для программирования осознанных поведенческих актов [51].

Итак, немаловажную роль в полимодальной интеграции имеет осознание действительности и формирование стратегии поведения за счет сознательного выбора. Предлагаемая нами трехуровневая модель осознания и отражения действительности включает неосознаваемые автоматические процессы биологиче-

ского отражения, частично осознаваемые субъективные процессы низшего сознательного и полностью осознаваемые и понимаемые процессы наивысшего сознательного. Согласно этой модели в деятельности мозга человека выделяется субъективный компонент рефлекторных актов и двойственные переходные материально-идеальные и идеально-материальные процессы [52]. В этой связи нами высказано предположение о существовании в мозге человека нейронных образований – «осознающих единиц», имеющих отношение к процессам осознания и понимания объективной реальности внешнего мира и к формированию человеком осознанного выбора. Наиболее вероятно, что в состав такой «осознающей единицы» мозга входят как минимум две группы нейронов, условно называемые нами «элементами познания» и «элементами сознания». Тогда полное осознание полимодальных сенсорных стимулов при формировании образа действительности представляется как активное взаимодействие нейронов «элементов познания» и «элементов сознания». Такое синаптическое взаимодействие нейронов в ассоциативной коре головного мозга приводит не только к осознанию чувственных образов, но и к образованию и накоплению в мозге осознанных знаний, составляющих основу сознательного человеческого опыта. А приобретение и накопление осознанных знаний в процессе когнитивной деятельности человека есть процесс познания, в то время как оперирование суммой осознанных знаний определяется как процесс мышления, в ходе которого возникает понимание происходящих в жизни событий [53].

*Полимодальная интеграция при физической активности и патологии*

Необходимо отметить один из значимых аспектов осознанного поведения человека, который является важным для понимания механизмов полимодальной интеграции в условиях мышечной деятельности и при возникновении психосоматической патологии. Не так давно было показано, что нейродинамические составляющие нервных процессов у спортсменов обеспечивают реализацию основных

физиологических механизмов развития двигательной быстроты, формируя модулирующие влияния со стороны центральной и вегетативной нервной системы. Однако напряженная мышечная работа у лиц, занимающихся спортом, в первую очередь приводит к сбоям регуляторного звена, обеспечивающего многофункциональность ЦНС и ВНС. Следовательно, из-за снижения возбудимости ЦНС и изменения полимодальной интеграции при мышечной работе спортсмены демонстрируют худшие показатели времени простой двигательной реакции. Эти особенности регуляции мышечной деятельности указывают на многофункциональность высшего интегративного звена мозга человека [54]. Кроме того, установлена взаимосвязь между физической активностью человека, его когнитивной деятельностью и нейронным функционированием. Но такие связи между функциями мозга человека на протяжении всей жизни меняются и обеспечивают должную физическую активность и когнитивную деятельность [55].

Использование фМРТ в нейрофизиологических исследованиях показало, что во время выполнения реальных движений нижними конечностями активируются области мозга, которые в наибольшей степени связаны с сенсомоторной активностью мозга, а при мысленном представлении движений в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах были активированы области мозга, связанные с контролем движений, их торможением и интеграцией сенсорного ввода и моторного вывода (теменные и затылочные) [56]. Действительно, в специальной литературе имеются сведения о способности физических упражнений поддерживать когнитивные функции человека. Это явление может быть связано с влиянием физических упражнений на эпигенетическую регуляцию экспрессии генов, которая имеет большое значение для создания «эпигенетической памяти», влияющей на функции мозга и поведение. Поэтому можно сказать, что физические упражнения тесно связаны с изменениями когнитивных функций и такими процессами, как метилирование ДНК, модификация гистонов и микроРНК. То есть физические упражнения

способствуют выработке долгосрочного когнитивного эффекта [57].

Исследования нейробиологов последних десятилетий также показывают эффективность физической активности в межсенсорной интеграции функций и в улучшении когнитивного здоровья на протяжении всей жизни человека. Важным стимулятором молекулярного механизма, активирующего влияния физических упражнений, является нейротрофический фактор головного мозга, который действует на стыке клеточного метаболизма и пластичности мозга [58]. В этой связи ни у кого не возникает сомнения в том, что физические упражнения могут предотвращать развитие связанных со стрессом психогенных расстройств настроения, таких, например, как депрессия и тревога [59]. Физические упражнения являются стимулятором сенсомоторной интеграции физиологических процессов в мозге человека, действие которых распространяется и на генетический аппарат клеток.

Конечно, топографо-корковая организация сенсомоторной области мозга весьма пластична, поскольку она меняет свою конфигурацию в ответ на обучение различным двигательным задачам как у здоровых людей, так и у неврологических больных. Так, восстановление двигательных функций после болезни (например, инсульта) связано с прогрессивным изменением паттернов мозговой активации в определенных структурах мозга. Транскраниальная магнитная стимуляция и магнитоэнцефалография позволяют обнаружить структурно-функциональные изменения сенсомоторных областей. Следовательно, интегративные нейронные генераторы мозга человека обеспечивают иерархическую активацию нейронной сети [60]. Как видно, пластическая перестройка активности нейронов мозга человека обеспечивает полифункциональность поступающих сигналов, способствующих восстановлению утраченной функции. Подобная перестройка нейронной активности происходит и в случае развития пограничных дезадаптивных расстройств интегративной деятельности мозга [61].

То есть в мозге человека онтогенетически сформирована целостная полимодальная сен-

сорная система, функционирующая за счет процессов полисенсорного конвергирования и дивергенции, а рассогласование ее деятельности происходит при образовании патологической дезинтегративной системы. Эти факты подтверждаются представлениями ученых о дисрегуляторных расстройствах, относящихся к нарушениям в аппарате нервной регуляции. Данные представления открывают новые возможности для восстановления организма человека за счет более эффективных межафферентных взаимодействий, что существенно облегчает работу мозга как полимодального анализатора. Чтобы мозг вновь стал работать как полимодальный сенсорный анализатор, необходимо в первую очередь разрушить сформированную в мозге патологически дезинтегративную систему, что позволит ограничить вестибулярный афферентный поток и «освободить» корковые нейроны от возникшей информационной перегрузки [62].

Однако сочетанные полисенсорные воздействия довольно часто приводят к значительной симпатической активации сердечного ритма, изменению эмоционального фона и повышению амплитуды вызванных потенциалов в лобно-центральных областях мозга во время когнитивной деятельности человека. В этом случае для восстановления когнитивных процессов (внимания, оперативной памяти), снижения проявлений эмоционального напряжения у спортсменов можно рекомендовать применение комплексных процедур, на основе сочетанных полисенсорных воздействий на организм [63]. Так, в настоящее время в клинической практике с помощью функциональной и структурной магнитно-резонансной томографии изучается мультимодальная интеграция нейроизображений как способ выявления депрессивных расстройств. Делается попытка адаптивно интегрировать функциональные и структурные данные магнитно-резонансной томографии для анализа депрессивных состояний на основе нейровизуализации уменьшения интермодальной гетерогенности мозга человека [64]. Также убедительно показано, что у больных с афазией имеются трудности с интеграцией речи и жестов для понимания

смысла высказывания. Здесь необходимо при общении наряду с языком использовать жесты, а также рекомендуется проводить обучение типам жестов, которые облегчат понимание людей [65]. Также посредством визуализации установлено, как возникают языковые дисфункции при аномалии коры или подкорки головного мозга у пациентов с неврологическими заболеваниями [66].

Результаты исследований в области аутизма также показывают, что мозг и поведение связаны не только семантически, но и практически. Это позволяет объединить сети мозговых и поведенческих процессов на основе полимодальных интегративных сетей [67]. Напротив, дезинтеграция нервных процессов в мозге наблюдается при синдроме дефицита внимания/гиперактивности, который является биологически гетерогенным заболеванием. Один из основных маркеров это синдрома у взрослых был полимодальным и связан с морфологическими и микроструктурными эффектами в передних височных областях мозга, а другой был связан с толщиной коры. Как выяснилось, данное расстройство возникает по причине интеграции небольших эффектов разных модальностей [68]. Поэтому можно сказать, что нарушение полимодальной интеграции лежит в основе расстройств аутистического спектра и синдрома дефицита внимания/гиперактивности, которые являются клинически и биологически гетерогенными расстройствами нервного развития [69].

Особый интерес представляет применение полимодального подхода к обследованию пациентов с расстройствами сознания, возникающими после перенесенной черепно-мозговой травмы. Результаты диагностики и лечения таких больных показывают, что выявленная у пациентов гетерогенная патология мозга, связанная с расстройствами сознания, в настоящее время исключает различия между вегетативными и сознательными состояниями [70].

Таким образом, сегодня мы наблюдаем достаточно широкое применение полимодального подхода в психоневрологии и даже в хирургии [71]. Очевидно, что высшие интегративные процессы, протекающие в головном

мозге человека, прочно связаны с телесными и факторами внешней среды и что динамический анализ полимодальной интеграции позволяет выявить закономерности перехода между функционально специализированными состояниями мозга человека и патологией [72].

**Заключение.** Таким образом, в организме человека мозг преобразует различные входящие сигналы в определенные стратегии поведения и сознательный выбор. То есть целенаправленность сознательного поведения человека «зарождается» в ходе полимодальной интеграции нервных процессов в мозге. На уровне полимодальной интеграции в мозге осуществляется взаимосвязь физиологических и психических процессов, в которых участвуют нейроны практически всего мозга, объединяющиеся в «узлы» интеграции, выполняющие роль своеобразных триггеров. Самым низшим уровнем полимодальной интеграции является соматовегетативная интеграция, частично осознающаяся человеком, а наивысшим – сознательный выбор. В целом многофункциональность нейронов мозга человека обеспечивает формирование интегративных образов внешнего мира и социальной жизни людей. Социальные взаимоотношения между людьми реализуются с участием сознания и через активацию ретикулярно-стволовых и корково-подкорковых областей мозга и, особенно, при участии префронтальной коры и амигдаллы. Сложный процесс планирования и предвидения будущих событий определяется в ходе сознательного выбора, который является результатом полимодальной интеграции сигнальных раздражителей. Как каждый сигнальный раздражитель, поступающий в мозг, тщательно отбирается и может стать причиной того или иного ответного осознанного произвольного действия. Таким образом, физиологическая полимодальная интеграция в мозге человека является начальной стадией психического сознательного выбора. Мозг человека реализует свою деятельность за счет работы высших интегративных «осознающих модулей» – группы нейронов, имеющих отношение к сознательному поведению. Рассогла-

сование полимодальной интеграции способствует возникновению дисрегуляторных расстройств поведения. При этом в мозге форми-

руется патологическая дезинтегративная система, отрицательно влияющая на поведенческие и когнитивные функции человека.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

### Литература

1. Матурана У., Варела Ф. Дерево познания: Биологические корни человеческого понимания. М.: УРСС: ЛЕНАНД; 2019. 320.
2. Каку М. Будущее разума / перевод с англ. Н. Лисовой. М.: Альпина-нон-фикшн; 2019. 646.
3. Херкулано-Хузел С. Мозг: Такой ли он особенный? / перевод с англ. А. Анваера. М.: Издательство АСТ; 2019. 288.
4. Kolodny O., Edelman S. The problem of multimodal concurrent serial order in behavior. *Neurosci Biobehav Rev.* 2015; 56: 252–265.
5. Drijvers L., Jensen O., Spaak E. Rapid invisible frequency tagging reveals nonlinear integration of auditory and visual information. *Hum Brain Mapp.* 2021; 42 (4): 1138–1152. DOI: 10.1002/hbm.25282.
6. Christov-Moore L., Simpson E., Coudé G., Grigaityte K., Jacoboni M., Ferrari P.F. Empathy: gender effects in brain and behavior. *Neurosci Biobehav Rev.* 2014; 46 (4): 604–627. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2014.09.001.
7. Ding K., Liu J. Comparing gratitude and pride: evidence from brain and behavior. *Cogn Affect Behav Neurosci.* 2022; 22 (6): 1199–1214. DOI: 10.3758/s13415-022-01006-y.
8. Acevedo B., Aron E., Aron A., Sangster M., Collins N., Brown L. The highly sensitive brain: an fMRI study of sensory processing sensitivity and response to others' emotions. *Brain Behav.* 2014; 4 (4): 580–594. DOI: 10.1002/brb3.242.
9. Schall J. On building a bridge between brain and behavior. *Annu Rev Psychol.* 2004; 55: 23–50. DOI: 10.1146/annurev.psych.55.090902.141907.
10. Karatsoreos I. Circadian Regulation of the Brain and Behavior: A Neuroendocrine Perspective. *Curr Top Behav Neurosci.* 2019; 43: 323–351. DOI: 10.1007/7854\_2019\_115.
11. Calisi R., Saldanha C. Neurohormones, Brain, and Behavior: A Comparative Approach to Understanding Rapid Neuroendocrine Action. *Integr Comp Biol.* 2015; 55 (2): 264–267. DOI: 10.1093/icb/icv007.
12. Borroto-Escuela D., Cuesta-Martí C., Lopez-Salas A., Chruścicka-Smaga B., Crespo-Ramírez M., Tesoro-Cruz E., Palacios-Lagunas D., Perez de la Mora M., Schellekens H., Fuxe K. The oxytocin receptor represents a key hub in the GPCR heteroreceptor network: potential relevance for brain and behavior. *Front Mol Neurosci.* 2022; 8 (15): 1055344. DOI: 10.3389/fnmol.2022.1055344.
13. Eddie D., Bates M., Buckman J. Closing the brain-heart loop: Towards more holistic models of addiction and addiction recovery. *Addict Biol.* 2022; 27 (1): e12958. DOI: 10.1111/adb.12958.
14. Florio T., Scarnati E., Rosa I., Censo D., Ranieri B., Cimini A., Galante A., Alecci M. The Basal Ganglia: More than just a switching device. *CNS Neurosci Ther.* 2018; 24 (8): 677–684. DOI: 10.1111/cns.12987.
15. Gut N., Mena-Segovia J. Dichotomy between motor and cognitive functions of midbrain cholinergic neurons. *Neurobiol Dis.* 2019; 128: 59–66. DOI: 10.1016/j.nbd.2018.09.008.
16. Streng M., Popa L., Ebner T. Complex Spike Wars: a New Hope. *Cerebellum.* 2018; 17 (6): 735–746. DOI: 10.1007/s12311-018-0960-3.
17. Uusisaari M., Schutte E. The mysterious microcircuitry of the cerebellar nuclei. *J Physiol.* 2011; 589 (14): 3441–3457. DOI: 10.1113/jphysiol.2010.201582.
18. Hu D., Shen H., Zhou Z. Functional asymmetry in the cerebellum: a brief review. *Cerebellum.* 2008; 7 (3): 304–313. DOI: 10.1007/s12311-008-0031-2.
19. Passarelli L., Gamberini M., Fattori P. The superior parietal lobule of primates: a sensory-motor hub for interaction with the environment. *J Integr Neurosci.* 2021; 20 (1): 157–171. DOI: 10.31083/j.jin.2021.01.334.
20. Kotz C. Integration of feeding and spontaneous physical activity: role for orexin. *Physiol Behav.* 2006; 88 (3): 294–301. DOI: 10.1016/j.physbeh.2006.05.031.

21. *Nogueira N., Bacelar M., Ferreira B., Parma J., Lage G.* Association between the catechol-O-methyltransferase (COMT) Val158Met polymorphism and motor behavior in healthy adults: A study review. *Brain Res Bull.* 2019; 144: 223–232. DOI: 10.1016/j.brainresbull.2018.11.002.
22. *Выготский Л.С.* Мышление и речь. М.: Эксмо; 2022. 544.
23. *Лурья А.Р.* Язык и сознание. СПб.: Питер; 2021. 448.
24. *Рубинштейн С.Л.* Бытие и сознание. М.: Издательство АСТ; 2022. 400.
25. *Bolt T., Nomi J., Rubinov M., Uddin L.* Correspondence between evoked and intrinsic functional brain network configurations. *Hum Brain Mapp.* 2017; 38 (4): 1992–2007. DOI: 10.1002/hbm.23500.
26. *Hikosaka O., Nakamura K., Nakahara H.* Basal ganglia orient eyes to reward. *J Neurophysiol.* 2006; 95 (2): 567–584. DOI: 10.1152/jn.00458.2005.
27. *Robbe D.* To move or to sense? Incorporating somatosensory representation into striatal functions. *Curr Opin Neurobiol.* 2018; 52: 123–130. DOI: 10.1016/j.conb.2018.04.009.
28. *Павлов И.П.* Лекции о работе больших полушарий головного мозга. М.: Издательство «Э»; 2017. 480.
29. *Ухтомский А.А.* Избранные труды. М.: Книга по Требованию; 2012. 369.
30. *Анохин П.К.* Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Книга по Требованию; 2013. 450.
31. *Ноздрачев А.Д., Поляков Е.Л., Филиппова Л.В., Алексеев Н.П.* Интероцептивная (висцеральная) сенсорная система – навигатор поведения висцеральных систем. Материалы XXIII съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова с международным участием. М.: «Истоки», 2017: 2353–2355.
32. *Александров В.Г., Кокурина Т.Н., Рыбакова Г.И., Туманова Т.С.* Автономные функции префронтальной коры. *Физиология человека.* 2021; 47 (5): 109–117. DOI: 10.31857/S0131164621050027.
33. *Свет М.С.* Введение в нейрофизиологию концептуального мышления: Код неопределенности. Как наши индивидуальные концептуальные системы определяют мышление, обуславливают поведение и формируют восприятие. М.: ЛЕНАНД; 2022. 408.
34. *Муртанзина Е.П., Матюлько И.С., Журавлев Б.В., Голубева Н.К.* Соматовегетативные компоненты сознательных взаимодействий (обзор). *Журнал медико-биологических исследований.* 2019; 7 (3): 349–362.
35. *Akhmedova O.O., Ovezgel'dyeva G.O., Grigor'ian A.G.* The psychophysiological condition of first year students with different levels of physical activity. *Fiziol cheloveka.* 2011; 37 (5): 84–90.
36. *Mesulam M.* Temporopolar regions of the human brain. *Brain.* 2023; 146 (1): 20–41
37. *Stock A., Gohil K., Huster R., Beste C.* On the effects of multimodal information integration in multitasking. *Sci Rep.* 2017; 7 (7): 4927.
38. *Сеченов И.М.* Элементы мысли: Впечатления и действительность: Исследование психики человека и ее взаимосвязи с внешним миром. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ»; 2022. 224.
39. *Ринпоче Й.М.* Будда, мозг и нейрофизиология счастья. Как изменить жизнь к лучшему. Практическое руководство / перевод с англ. Солама Дордже. М.: Ориенталия; 2022. 368.
40. *Куладаса Д., Иммергат М., Джереми Г.* Свет ума: полное руководство по медитации / перевод с англ. О. Кривовяз, А. Мелиховой. М.: Эксмо; 2020. 560.
41. *Дойдж Н.* Пластичность мозга: потрясающие факты о том, как мысли способны менять структуру и функции нашего мозга / перевод с англ. Е. Виноградовой. М.: Эксмо; 2021. 576.
42. *Артеменков А.А.* Философское осмысление сущности и природы психического отражения. Вестник Московского государственного областного университета. Серия: философские науки. 2023; 2: 69–17. DOI: 10.18384/2310-7227-2023-2-6-17.
43. *Артеменков А.А.* Модель урботехносоциальной глобализации и когнитивной цефализации (мозга) современного человека. Ноосферные исследования. 2023; 3: 469–56. DOI: 10.46724/NOOS.2023.3.46-56.
44. *Курцвейл П.* Эволюция разума: как развитие искусственного интеллекта изменит будущее цивилизации / перевод с англ. Т.П. Мосоловой. М.: Эксмо; 2020. 448.
45. *Сеунг С.* Коннектом. Как мозг делает нас тем, что мы есть / перевод с англ. А. Капанадзе. М.: Лаборатория знаний; 2018. 440.
46. *Анохин К.В.* Когнитом: в поисках фундаментальной нейронаучной теории сознания. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова.* 2021; 71 (1): 39–71. DOI: 10.31857/S0044467721010032.
47. *Хоффман Д.* Как нас обманывают органы чувств / перевод с англ. М. Максимовой. М.: Издательство АСТ; 2022. 304.
48. *Афанасьев В.Г.* Мир живого: Системность, эволюция и управление. М.: Издательство ЛКИ; 2019. 334.

49. Дубровский Д.И. Информация. Сознание. Мозг: Расшифровка мозговых кодов психических явлений. М.: ЛЕНАНД; 2021. 304.
50. Артеменков А.А. Гомеостаз и адаптация: патофизиологические аспекты соматовегетативного взаимодействия в онтогенезе. Педиатр. 2021; 12 (4): С. 899–101. DOI: 10.17816/PED12489-101.
51. Батуев А.С. Высшие интегративные системы мозга. Ленинград: Наука, Ленинградское отделение; 1981. 255.
52. Артеменков А.А. Психофизиологическая проблема: единство материального и идеального в человеке. Современные философские исследования. 2024; 1: 969–112. DOI: 10.18384/2949-5148-2024-1-96-112.
53. Артеменков А.А. Нейроэпистемология ментальных событий: осознание действительности. Знание. Понимание. Умение. 2024; 1: 1249–137. DOI: 10.17805/zpu.2024.1.10.
54. Евсеева А.В. Многофункциональность свойств центральной нервной системы и совершенствование скоростно-силовых качеств спортсменов. Стратегия формирования здорового образа жизни населения средствами физической культуры и спорта: Тенденции, традиции, инновации: материалы международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора В.Н. Зуева. Тюмень: «Вектор-Групп», 2018: 2399–245.
55. Prakash R., Voss M., Erickson K., Kramer A. Physical activity and cognitive vitality. Annu Rev Psychol. 2015; 3 (66): 769–797. DOI: 10.1146/annurev-psych-010814-015249.
56. Kline A., Pittman D., Ronsky J., Goodyear B. Differentiating the Brain's involvement in Executed and Imagined Stepping using fMRI. Behav Brain Res. 2020; 15 (394): 112829. DOI: 10.1016/j.bbr.2020.112829.
57. Fernandes J., Arida R., Gomez-Pinilla F. Physical exercise as an epigenetic modulator of brain plasticity and cognition. Neurosci Biobehav Rev. 2017; 80: 443–456. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2017.06.012.
58. Gomez-Pinilla F., Hillman C. The influence of exercise on cognitive abilities. Compr Physiol. 2013; 3 (1): 403–428. DOI: 10.1002/cphy.c110063.
59. Greenwood B., Fleshner M. Exercise, learned helplessness, and the stress-resistant brain. Neuromolecular Med. 2008; 10 (2): 81–98. DOI: 10.1007/s12017-008-8029-y.
60. Rossini P., Altamura C., Ferreri F., Melgari J.-M., Tecchio F., Tombini M., Pasqualetti P., Vernieri F. Neuroimaging experimental studies on brain plasticity in recovery from stroke. Eur J Neurol. 2007; 14 (2): 241–254.
61. Артеменков А.А. Этиопатогенетические механизмы возникновения дезадаптивных расстройств у человека в процессе обучения. Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2018; 62 (2): 122–128.
62. Нарышкин А.Г., Горелик А.Л., Скоромец Т.А., Егоров А.Ю., Второв А.В., Мартынов И.В. О возможностях частичного восстановления интегративной деятельности мозга у больных в вегетативном состоянии. Физиология человека. 2014; 40 (5): 699–679. DOI: 10.7868/S0131164614030114.
63. Дудник Е.Н., Глазачев О.С., Барак О., Лаврищев А.А., Костюк Д.И. Влияние комплексных полисенсорных восстановительных процедур на функции центральной и вегетативной нервной системы. Физиология человека. 2009; 35 (1): 369–40.
64. Wang Q., Li L., Qiao L., Liu M. Adaptive Multimodal Neuroimage Integration for Major Depression Disorder Detection. Front Neuroinform. 2022; 16: 856175.
65. Cocks N., Byrne S., Pritchard M., Morgan G., Dipper L. Integration of speech and gesture in aphasia. Int J Lang Commun Disord. 2018; 53 (3): 584–591. DOI: 10.1111/1460-6984.12372.
66. Kucukboyaci N., Kemmotsu N., K M Leyden R., Girard H., Tecoma E., Iragui V., McDonald C. Integration of multimodal MRI data via PCA to explain language performance. Neuroimage Clin. 2014; 14 (5): 197–207. DOI: 10.1016/j.nicl.2014.05.006.
67. Blanken T., Bathelt J., Deserno M., Vogt L., Borsboom D., Douw L. Connecting brain and behavior in clinical neuroscience: A network approach. Neurosci Biobehav Rev. 2021; 130: 81–90. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2021.07.027.
68. Wolfers T., Arenas A.L., Onnink A.M., Dammers J., Hoogman M., Zwiers M., Buitelaar J., Franke B., Marquand A., Beckmann C. Refinement by integration: aggregated effects of multimodal imaging markers on adult ADHD. J Psychiatry Neurosci. 2017; 42 (6): 386–394. DOI: 10.1503/jpn.160240.
69. Jacobs G., Voineskos A., Hawco C., Stefanik L., Forde N., Dickie E., Lai M., Szatmari P., Schachar R., Crosbie J., Arnold P., Goldenberg A., Erdman L., Ameis S. Integration of brain and behavior measures

- for identification of data-driven groups cutting across children with ASD, ADHD, or OCD. *Neuropsychopharmacology*. 2021; 46 (3): 643–653. DOI: 10.1038/s41386-020-00902-6.
70. Coleman M., Bekinschtein T., Monti M., Owen A., Pickard J. A multimodal approach to the assessment of patients with disorders of consciousness. *Prog Brain Res*. 2009; 177: 231–248. DOI: 10.1016/S0079-6123(09)17716-6.
71. Vovk V., Duda I., Vovk A. The effect of a multimodal approach on the results of treatment in surgery: integration of chemotherapy, surgery, and radiotherapy. *Georgian Med News*. 2024; 347: 41–46.
72. Zhang L., Zhao J., Zhou Q., Liu Z., Zhang Y., Cheng W., Gong W., Hu X., Lu W., Bullmore E., Lo C., Feng J. Sensory, somatomotor and internal mentation networks emerge dynamically in the resting brain with internal mentation predominating in older age. *Neuroimage*. 2021; 237: 118188. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2021.118188.

Поступила в редакцию 09.12.2024; принята 13.02.2025.

#### Автор

**Артеменков Алексей Александрович** – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры теоретических основ физической культуры, спорта и здоровья факультета биологии и здоровья человека, ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет». 162600, Россия, г. Череповец, пр. Луначарского, 5; e-mail: aartemenkov@chsu.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7919-3690>.

#### Образец цитирования

Артеменков А.А. Сенсорная полимодальная интеграция когнитивных функций мозга человека. Ульяновский медико-биологический журнал. 2025; 3: 20–40. DOI: 10.34014/2227-1848-2025-3-20-40.

## SENSORY POLYMODAL INTEGRATION OF THE HUMAN BRAIN COGNITIVE FUNCTIONS

A.A. Artemenkov

Cherepovets State University, Cherepovets, Russia

*The article analyzes open access publications from eLibrary.RU and PubMed databases. The author formulates the ideas on the mechanisms of polymodal integration of human cognitive activity and behavior during human interaction with the surrounding world. The paper reveals the main theoretical principles of polymodal integration, according to which the human brain functions combining reflex arcs into a multivariate system of neural connections. The disintegration of the polymodal connection system occurs because of the neural process disintegration underlying somatovegetative pathology. Polymodal human brain integration also synchronizes physiological processes of the body and manifests itself in multivariate patterns of cognitive activity and behavior. Polymodality and multivariate correlation between somatovegetative parameters consist in the integrative function of brain neurons, which combine into neural circuits not chaotically, but purposefully, based on the interaction of significant external environmental stimuli, to ensure a conscious body response. Polymodal integration of sensory signals is the basis of all human cognitive activity, cognition of the surrounding reality and social behavior in society. Thus, the general idea on polymodal integration allows us to expand our understanding of the integrative activity of the human brain as a complex multifunctional system "Man in the environment". The research revealed that physiological and mental processes of awareness of the life events occur at the level of sensory polymodal human brain integration. This knowledge can become a basis for creating new neuropathological models for disruption of the interaction processes between the man and the environment, and help us understand the true mechanisms of the higher integrative systems of the human brain.*

**Key words:** environment, human, behavior, cognitive activity, polymodal integration, conscious choice, disintegration.

**Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

**References**

1. Maturana U., Varela F. *Derevo poznaniya: Biologicheskie korni chelovecheskogo ponimaniya* [The tree of knowledge: Biological roots of human understanding]. Moscow: URSS: LENAND; 2019. 320 (in Russian).
2. Kaku M. *Budushchee razuma / perevod s angl. N. Lisovoy* [The future of the mind / translated from English. N. Lisova]. Moscow: Al'pina-non-fikshn; 2019. 646 (in Russian).
3. Herculano-Houzel S. *Mozg: Takoy li on osobennyi? / perevod s angl. A. Anvaera* [What is so special about the human brain? / translated from English by A. Anvaer]. Moscow: Izdatel'stvo AST; 2019. 288 (in Russian).
4. Kolodny O., Edelman S. The problem of multimodal concurrent serial order in behavior. *Neurosci Biobehav Rev.* 2015; 56: 252–265.
5. Drijvers L., Jensen O., Spaak E. Rapid invisible frequency tagging reveals nonlinear integration of auditory and visual information. *Hum Brain Mapp.* 2021; 42 (4): 1138–1152. DOI: 10.1002/hbm.25282.
6. Christov-Moore L., Simpson E., Coudé G., Grigaityte K., Iacoboni M., Ferrari P.F. Empathy: gender effects in brain and behavior. *Neurosci Biobehav Rev.* 2014; 46 (4): 604–627. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2014.09.001.
7. Ding K., Liu J. Comparing gratitude and pride: evidence from brain and behavior. *Cogn Affect Behav Neurosci.* 2022; 22 (6): 1199–1214. DOI: 10.3758/s13415-022-01006-y.
8. Acevedo B., Aron E., Aron A., Sangster M., Collins N., Brown L. The highly sensitive brain: an fMRI study of sensory processing sensitivity and response to others' emotions. *Brain Behav.* 2014; 4 (4): 580–594. DOI: 10.1002/brb3.242.
9. Schall J. On building a bridge between brain and behavior. *Annu Rev Psychol.* 2004; 55: 23–50. DOI: 10.1146/annurev.psych.55.090902.141907.
10. Karatsoreos I. Circadian Regulation of the Brain and Behavior: A Neuroendocrine Perspective. *Curr Top Behav Neurosci.* 2019; 43: 323–351. DOI: 10.1007/7854\_2019\_115.
11. Calisi R., Saldanha C. Neurohormones, Brain, and Behavior: A Comparative Approach to Understanding Rapid Neuroendocrine Action. *Integr Comp Biol.* 2015; 55 (2): 264–267. DOI: 10.1093/icb/icv007.
12. Borroto-Escuela D., Cuesta-Martí C., Lopez-Salas A., Chruścicka-Smaga B., Crespo-Ramírez M., Tesoro-Cruz E., Palacios-Lagunas D., Perez de la Mora M., Schellekens H., Fuxe K. The oxytocin receptor represents a key hub in the GPCR heteroreceptor network: potential relevance for brain and behavior. *Front Mol Neurosci.* 2022; 8 (15): 1055344. DOI: 10.3389/fnmol.2022.1055344.
13. Eddie D., Bates M., Buckman J. Closing the brain-heart loop: Towards more holistic models of addiction and addiction recovery. *Addict Biol.* 2022; 27 (1): e12958. DOI: 10.1111/adb.12958.
14. Florio T., Scarnati E., Rosa I., Censo D., Ranieri B., Cimini A., Galante A., Alecci M. The Basal Ganglia: More than just a switching device. *CNS Neurosci Ther.* 2018; 24 (8): 677–684. DOI: 10.1111/cns.12987.
15. Gut N., Mena-Segovia J. Dichotomy between motor and cognitive functions of midbrain cholinergic neurons. *Neurobiol Dis.* 2019; 128: 59–66. DOI: 10.1016/j.nbd.2018.09.008.
16. Streng M., Popa L., Ebner T. Complex Spike Wars: a New Hope. *Cerebellum.* 2018; 17 (6): 735–746. DOI: 10.1007/s12311-018-0960-3.
17. Uusisaari M., Schutte E. The mysterious microcircuitry of the cerebellar nuclei. *J Physiol.* 2011; 589 (14): 3441–3457. DOI: 10.1113/jphysiol.2010.201582.
18. Hu D., Shen H., Zhou Z. Functional asymmetry in the cerebellum: a brief review. *Cerebellum.* 2008; 7 (3): 304–313. DOI: 10.1007/s12311-008-0031-2.
19. Passarelli L., Gamberini M., Fattori P. The superior parietal lobule of primates: a sensory-motor hub for interaction with the environment. *J Integr Neurosci.* 2021; 20 (1): 157–171. DOI: 10.31083/j.jin.2021.01.334.
20. Kotz C. Integration of feeding and spontaneous physical activity: role for orexin. *Physiol Behav.* 2006; 88 (3): 294–301. DOI: 10.1016/j.physbeh.2006.05.031.
21. Nogueira N., Bacelar M., Ferreira B., Parma J., Lage G. Association between the catechol-O-methyltransferase (COMT) Val158Met polymorphism and motor behavior in healthy adults: A study review. *Brain Res Bull.* 2019; 144: 223–232. DOI: 10.1016/j.brainresbull.2018.11.002.
22. Vygotskiy L.S. *Myshlenie i rech'* [Thinking and speech]. Moscow: Eksmo; 2022. 544 (in Russian).
23. Luriya A.R. *Yazyk i soznanie* [Language and consciousness]. St. Petersburg: Piter; 2021. 448 (in Russian).
24. Rubinshteyn S.L. *Bytie i soznanie* [Being and Consciousness]. Moscow: Izdatel'stvo AST; 2022. 400 (in Russian).

25. Bolt T., Nomi J., Rubinov M., Uddin L. Correspondence between evoked and intrinsic functional brain network configurations. *Hum Brain Mapp.* 2017; 38 (4): 1992–2007. DOI: 10.1002/hbm.23500.
26. Hikosaka O., Nakamura K., Nakahara H. Basal ganglia orient eyes to reward. *J Neurophysiol.* 2006; 95 (2): 567–584. DOI: 10.1152/jn.00458.2005.
27. Robbe D. To move or to sense? Incorporating somatosensory representation into striatal functions. *Curr Opin Neurobiol.* 2018; 52: 123–130. DOI: 10.1016/j.conb.2018.04.009.
28. Pavlov I.P. *Lektsii o rabote bol'shikh polushariy golovnogo mozga* [Lectures on the work of the cerebral hemispheres]. Moscow: Izdatel'stvo «E»; 2017. 480 (in Russian).
29. Ukhtomskiy A.A. *Izbrannye Trudy* [Selected Works]. Moscow: Kniga po Trebovaniyu; 2012. 369 (in Russian).
30. Anokhin P.K. *Ocherki po fiziologii funktsional'nykh system* [Essays on the physiology of functional systems]. Moscow: Kniga po Trebovaniyu; 2013. 450 (in Russian).
31. Nozdrachev A.D., Polyakov E.L., Filippova L.V., Alekseev N.P. Interotseptivnaya (vistseral'naya) sensor-naya sistema – navigator povedeniya vistseral'nykh system [Interoceptive (visceral) sensory system – a navigator of visceral systems behavior]. *Materialy XXIII s"ezda Fiziologicheskogo obshchestva im. I.P. Pavlova s mezhdunarodnym uchastiem* [Proceedings of the 23<sup>rd</sup> Congress of the Physiological Society named after I.P. Pavlov (with international participation)]. Moscow: «Istoki», 2017: 2353–2355 (in Russian).
32. Aleksandrov V.G., Kokurina T.N., Rybakova G.I., Tumanova T.S. Avtonomnye funktsii prefrontal'noy kory [Autonomic functions of the prefrontal cortex]. *Fiziologiya cheloveka.* 2021; 47 (5): 109–117. DOI: 10.31857/S0131164621050027 (in Russian).
33. Svet M.S. *Vvedenie v neyrofiziologiyu kontseptual'nogo myshleniya: Kod neopredelennosti. Kak nashi individual'nye kontseptual'nye sistemy opredelyayut myshlenie, obuslavlivayut povedenie i formiruyut vospriyatie* [Introduction to the neurophysiology of conceptual thinking: The code of uncertainty. How our individual conceptual systems determine thinking, condition behavior and shape perception]. Moscow: LENAND; 2022. 408 (in Russian).
34. Murtanzina E.P., Matyul'ko I.S., Zhuravlev B.V. Golubeva N.K. Somatovegetativnye komponenty soznatel'nykh vzaimodeystviy (obzor) [Somatovegetative components of conscious interactions (review)]. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy.* 2019; 7 (3): 349–362 (in Russian).
35. Akhmedova O.O., Ovezgel'dyeva G.O., Grigor'ian A.G. The psychophysiological condition of first year students with different levels of physical activity. *Fiziol cheloveka.* 2011; 37 (5): 84–90.
36. Mesulam M. Temporopolar regions of the human brain. *Brain.* 2023; 146 (1): 20–41
37. Stock A., Gohil K., Huster R., Beste C. On the effects of multimodal information integration in multi-tasking. *Sci Rep.* 2017; 7 (7): 4927.
38. Sechenov I.M. *Elementy mysli: Vpechatleniya i deystvitel'nost': Issledovanie psikhiki cheloveka i ee vzaimosvyazi s vneshnim mirom* [Elements of thought: Impressions and reality: A study of the human psyche and its relationship with the outside world]. Moscow: Knizhnyy dom «LIBROKOM»; 2022. 224 (in Russian).
39. Yongey Mingyur. *Budda, mozg i neyrofiziologiya schast'ya. Kak izmenit' zhizn' k luchshemu. Prakticheskoe rukovodstvo / perevod s angl. Sonama Dordzhe* [Buddha, Brain, and Neurophysiology of Happiness. Exploring Mindfulness and Joy Through Neuroscience/ translated from English by Sonama Dordzhe]. Moscow: Orientaliya; 2022. 368 (in Russian).
40. Kuladasa D., Immergut M., Jeremy G. *Svet uma: polnoe rukovodstvo po meditatsii / perevod s angl. O. Krivovyaz, A. Melikhovoy* [The mind illuminated: A complete meditation guide / translated from English by O. Krivovyaz, A. Melikhova.]. Moscow: Eksmo; 2020. 560 (in Russian).
41. Dodge N. *Plastichnost' mozga: potryasayushchie fakty o tom, kak mysli sposobny menyat' strukturu i funktsii nashego mozga / perevod s angl. E. Vinogradovoy* [Brain plasticity: Amazing facts about how thoughts can change the structure and function of our brain / translated from English by E. Vinogradova]. Moscow: Eksmo; 2021. 576 (in Russian).
42. Artemenkov A.A. *Filosofskoe osmyslenie sushchnosti i prirody psikhicheskogo otrazheniya* [Understanding of the essence and nature of mental reflection]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: filosofskie nauki.* 2023; 2: 69–17. DOI: 10.18384/2310-7227-2023-2-6-17 (in Russian).
43. Artemenkov A.A. *Model' urbotekhnosotsial'noy globalizatsii i kognitivnoy tsefalizatsii (mozga) sovremennogo cheloveka* [Model of urbotekhnosocial globalization and cognitive cephalization of modern

- human brain]. *Noosfernye issledovaniya*. 2023; 3: 469–56. DOI: 10.46724/NOOS.2023.3.46-56 (in Russian).
44. Kurzweil R. *Evolutsiya razuma: kak razvitie iskusstvennogo intellekta izmenit budushchee tsivilizatsii* / perevod s angl. T.P. Mosolovoy [How to create a mind: The secret of human thought revealed / translated from English by T.P. Mosolova]. Moscow: Eksmo; 2020. 448 (in Russian).
45. Seung S. *Konnektom. Kak mozg delaet nas tem, chto my est'* / perevod s angl. A. Kapanadze [Connectome: How the brain's wiring makes us who we are / translated from English by A. Kapanadze]. Moscow: Laboratoriya znaniy; 2018. 440 (in Russian).
46. Anokhin K.V. *Kognitom: v poiskakh fundamental'noy neyronaichnoy teorii soznaniya* [Cognitome: In search of fundamental neuroscience theory of consciousness]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*. 2021; 71 (1): 39–71. DOI: 10.31857/S0044467721010032 (in Russian).
47. Hoffman D. *Kak nas obmanyvayut organy chuvstv* / perevod s angl. M. Maksimovoy [How our senses deceive us / translated from English by M. Maximova]. Moscow: Izdatel'stvo AST; 2022. 304 (in Russian).
48. Afanas'ev V.G. *Mir zhivogo: Sistemnost', evolyutsiya i upravlenie* [The Living World: Systematicity, Evolution and Management]. Moscow: Izdatel'stvo LKI; 2019. 334 (in Russian).
49. Dubrovskiy D.I. *Informatsiya. Soznanie. Mozg: Rasshifrovka mozgovykh kodov psikhicheskikh yavleniy* [Information. Consciousness. Brain: Decoding brain codes of mental phenomena]. Moscow: LENAND; 2021. 304 (in Russian).
50. Artemenkov A.A. *Gomeostaz i adaptatsiya: patofiziologicheskie aspekty somatovegetativnogo vzaimodeystviya v ontogeneze* [Homeostasis and adaptation: Pathophysiological aspects of somato-vegetative interaction in ontogenesis]. *Pediatr.* 2021; 12 (4): S. 899–101. DOI: 10.17816/PED12489-101 (in Russian).
51. Batuev A.S. *Vysshie integrativnye sistemy mozga* [Higher integrative systems of the brain]. Leningrad: Nauka, Leningradskoe otdelenie; 1981. 255 (in Russian).
52. Artemenkov A.A. *Psikhofiziologicheskaya problema: edinstvo material'nogo i ideal'nogo v cheloveke* [Psychophysiological problem: The unity of material and ideal in human]. *Sovremennye filosofskie issledovaniya*. 2024; 1: 969–112. DOI: 10.18384/2949-5148-2024-1-96-112 (in Russian).
53. Artemenkov A.A. *Neyroepistemologiya mental'nykh sobytiy: osoznanie deystvitel'nosti* [Neuroepistemology of mental events: Awareness of reality]. *Znanie. Ponimanie. Umenie*. 2024; 1: 1249–137. DOI: 10.17805/zpu.2024.1.10 (in Russian).
54. Evseeva A.V. *Mnogofunktsional'nost' svoystv tsentral'noy nervnoy sistemy i sovershenstvovanie skorostno-silovykh kachestv sportsmenov* [Multifunctionality of the central nervous system and improvement of speed-strength qualities in athletes]. *Strategiya formirovaniya zdorovogo obraza zhizni nasele-niya sredstvami fizicheskoy kul'tury i sporta: Tendentsii, traditsii, innovatsii: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora V.N. Zueva* [Strategy for healthy lifestyle formation in the population by means of physical culture and sports: Trends, traditions, innovations: Proceedings of the international science-to-practice conference dedicated to the memory of Professor V.N. Zuev]. Tyumen': «Vektor-Grupp», 2018: 2399–245 (in Russian).
55. Prakash R., Voss M., Erickson K., Kramer A. Physical activity and cognitive vitality. *Annu Rev Psychol.* 2015; 3 (66): 769–797. DOI: 10.1146/annurev-psych-010814-015249.
56. Kline A., Pittman D., Ronsky J., Goodyear B. Differentiating the Brain's involvement in Executed and Imagined Stepping using fMRI. *Behav Brain Res.* 2020; 15 (394): 112829. DOI: 10.1016/j.bbr.2020.112829.
57. Fernandes J., Arida R., Gomez-Pinilla F. Physical exercise as an epigenetic modulator of brain plasticity and cognition. *Neurosci Biobehav Rev.* 2017; 80: 443–456. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2017.06.012.
58. Gomez-Pinilla F., Hillman C. The influence of exercise on cognitive abilities. *Compr Physiol.* 2013; 3 (1): 403–428. DOI: 10.1002/cphy.c110063.
59. Greenwood B., Fleshner M. Exercise, learned helplessness, and the stress-resistant brain. *Neuromolecular Med.* 2008; 10 (2): 81–98. DOI: 10.1007/s12017-008-8029-y.
60. Rossini P., Altamura C., Ferreri F., Melgari J.-M., Tecchio F., Tombini M., Pasqualetti P., Vernieri F. Neuroimaging experimental studies on brain plasticity in recovery from stroke. *Eura Medicophys.* 2007; 43 (2): 241–254.

61. Artemenkov A.A. Etiopatogeneticheskie mekhanizmy vozniknoveniya dezadaptivnykh rasstroystv u cheloveka v protsesse obucheniya [Etiopathogenetic mechanisms of maladaptive disorders in students during training]. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya*. 2018; 62 (2): 122–128 (in Russian).
62. Naryshkin A.G., Gorelik A.L., Skoromets T.A., Egorov A.Yu., Vtorov A.V., Martynov I.V. O vozmozhnyakh chastichnogo vosstanovleniya integrativnoy deyatel'nosti mozga u bol'nykh v vegetativnom sostoyanii [On partial restoration of brain integrative activity in patients with no signs of awareness]. *Fiziologiya cheloveka*. 2014; 40 (5): 699–679. DOI: 10.7868/S0131164614030114 (in Russian).
63. Dudnik E.N., Glazachev O.S., Barak O., Lavrishchev A.A., Kostyuk D.I. Vliyanie kompleksnykh polisensornykh vosstanovitel'nykh protsedur na funktsii tsentral'noy i vegetativnoy nervnoy sistemy [Effect of complex polysensory restorative procedures on functions of the central and autonomic nervous system]. *Fiziologiya cheloveka*. 2009; 35 (1): 369–40 (in Russian).
64. Wang Q., Li L., Qiao L., Liu M. Adaptive Multimodal Neuroimage Integration for Major Depression Disorder Detection. *Front Neuroinform*. 2022; 16: 856175.
65. Cocks N., Byrne S., Pritchard M., Morgan G., Dipper L. Integration of speech and gesture in aphasia. *Int J Lang Commun Disord*. 2018; 53 (3): 584–591. DOI: 10.1111/1460-6984.12372.
66. Kucukboyaci N., Kemmotsu N., K M Leyden R., Girard H., Tecoma E., Iragui V., McDonald C. Integration of multimodal MRI data via PCA to explain language performance. *Neuroimage Clin*. 2014; 14 (5): 197–207. DOI: 10.1016/j.nicl.2014.05.006.
67. Blanken T., Bathelt J., Deserno M., Vogt L., Borsboom D., Douw L. Connecting brain and behavior in clinical neuroscience: A network approach. *Neurosci Biobehav Rev*. 2021; 130: 81–90. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2021.07.027.
68. Wolfers T., Arenas A.L., Onnink A.M., Dammers J., Hoogman M., Zwiers M., Buitelaar J., Franke B., Marquand A., Beckmann C. Refinement by integration: aggregated effects of multimodal imaging markers on adult ADHD. *J Psychiatry Neurosci*. 2017; 42 (6): 386–394. DOI: 10.1503/jpn.160240.
69. Jacobs G., Voineskos A., Hawco C., Stefanik L., Forde N., Dickie E., Lai M., Szatmari P., Schachar R., Crosbie J., Arnold P., Goldenberg A., Erdman L., Ameis S. Integration of brain and behavior measures for identification of data-driven groups cutting across children with ASD, ADHD, or OCD. *Neuropsychopharmacology*. 2021; 46 (3): 643–653. DOI: 10.1038/s41386-020-00902-6.
70. Coleman M., Bekinschtein T., Monti M., Owen A., Pickard J. A multimodal approach to the assessment of patients with disorders of consciousness. *Prog Brain Res*. 2009; 177: 231–248. DOI: 10.1016/S0079-6123(09)17716-6.
71. Vovk V., Duda I., Vovk A. The effect of a multimodal approach on the results of treatment in surgery: integration of chemotherapy, surgery, and radiotherapy. *Georgian Med News*. 2024; 347: 41–46.
72. Zhang L., Zhao J., Zhou Q., Liu Z., Zhang Y., Cheng W., Gong W., Hu X., Lu W., Bullmore E., Lo C., Feng J. Sensory, somatomotor and internal mentation networks emerge dynamically in the resting brain with internal mentation predominating in older age. *Neuroimage*. 2021; 237: 118188. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2021.118188.

Received December 09, 2024; accepted February 13, 2025.

### Information about the author

**Artemenkov Aleksey Aleksandrovich**, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Chair of Theoretical Foundations of Physical Culture, Sports and Health, Faculty of Biology and Human Health, Cherepovets State University. 162600, Russia, Cherepovets, Lunacharsky Ave., 5; e-mail: [aaartenkov@chsu.ru](mailto:aaartenkov@chsu.ru); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7919-3690>.

### For citation

Artemenkov A.A. Sensornaya polimodal'naya integratsiya kognitivnykh funktsiy mozga cheloveka [Sensory polymodal integration of the human brain cognitive functions]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*. 2025; 3: 20–40. DOI: 10.34014/2227-1848-2025-3-20-40 (in Russian).