

СИСТЕМНАЯ ПСИХОНЕВРОЛОГИЯ:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НОВОЙ ПАРАДИГМЫ

Игорь Владимирович Дамулин

*Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова,
Московский Клинический Научный Центр ДЗМ, 119021, Москва, ул. Россолимо, 11/1,
e-mail: damulin_igor@mail.ru*

Реферат. В статье рассматриваются современные аспекты организации деятельности центральной нервной системы (ЦНС). Подчеркивается значение церебральных связей. Рассматривается концепция коннектома, принципы его построения. Анализируются механизмы способности предугадывания событий и творческих способностей. Подчеркивается, что в функционировании ЦНС ведущее значение имеет присущая головному мозгу особенность, связанная с его спонтанной активностью – ритмической и неритмической (хаотической). Отдельно анализируется «состояние покоя». Подчеркивается глобальный принцип функционирования головного мозга – достижение цели (т.е. передачи информации) с минимальными энергетическими затратами. Рассматривается предположение о дискретном характере активации/функционировании головного мозга в связи с возникновением «смешанных осцилляций». Анализируются процессы восстановления после инсульта. Делается вывод, что полученные в настоящее время данные позволяют выделить отдельное направление в области нейронаук – системную психоневрологию, которая объединяет в себе и клинические дисциплины, и методы нейровизуализации, и математические методы. Этот комплексный подход открывает новые возможности для изучения деятельности головного мозга.

Ключевые слова: структурная и функциональная организация головного мозга, коннектом, активность головного мозга в состоянии покоя, методы функциональной нейровизуализации, системная психоневрология.

SOME THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS
OF SYSTEM PSYCHONEUROLOGY

Igor V. Damulin

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University,
Russian Federation, 119021, Moscow Clinical Scientific Center,
Moscow, Rossolimo str., 11/1, e-mail: damulin_igor@mail.ru

The article discusses the modern aspects of the organization of the central nervous system (CNS). First of all, the importance of cerebral connections is emphasized. It is discussed about the concept of the human connectome, the principles of its construction. The paper considers the mechanisms of the ability of forecasting events and creative abilities. It is clarified that in the functioning of the CNS the leading role plays the feature of the brain, related to its spontaneous rhythmic and chaotic activity. Separately is analyzed the resting state activity of the brain. The paper is dedicated to the global principle of the brain functioning – the achievement of the goal (i.e. communication) with minimal energy consumption. The article is concerned with the hypothesis about the discrete nature of the brain activation/functioning in connection with the occurrence of the “mixed-

mode oscillations”. The processes of recovery after stroke are analyzed. The conclusion is that the currently received data allow to mark off a separate area in the field of neuroscience - system psychoneurology, which combines clinical, neuroimaging and mathematical data. This integrated approach opens new possibilities for researching the brain working.

Key words: structural and functional organization of the brain, human connectome, resting state activity of the brain, functional brain imaging, system psychoneurology.

Концепция коннектома и системная психоневрология. Функционирование центральной нервной системы (ЦНС) определяется способностью к наиболее быстрой и точной передаче информации. Ключевое значение имеет тот факт, насколько успешно передаётся информация как между различными близко расположенными нейронами, так и между нейронами, располагающимися на расстоянии [17]. Поэтому неудивительно, что в настоящее время при рассмотрении принципов функционирования ЦНС все большее значение придаётся церебральным связям различного характера и различной протяжённости [32]. Следует заметить, что исследования по изучению проводящих путей головного мозга с помощью МРТ и значения поражения этих путей в генезе когнитивных нарушений активно проводятся, как в нашей стране, так и за рубежом [1, 5, 15, 55]. При этом синдром «разобщения» имеет значение не только при неврологических заболеваниях, но и при психиатрической патологии [3], в частности, при шизофрении [4].

По данным методов функциональной нейровизуализации даже при отсутствии непосредственных анатомических связей (аксонов, проводящих путей в белом веществе головного мозга) функциональные связи могут обеспечить осуществление деятельности ЦНС. Функциональные связи характеризуются крайней динамичностью, они могут изменяться в течение

секунд или часов, влияя, в частности, на уровень сознания или когнитивные функции. Более длительные временные периоды требуются для изменения анатомических и функциональных связей при обучении [32].

Успехи, достигнутые в последнее два десятилетия в области точных наук, позволили приблизиться к пониманию того, как эта предельно сложная система – головной мозг – функционирует [17]. Одним из успехов в этой области является построение *коннектома* – системы структурных и функциональных связей между различными церебральными отделами, состояние которых оценивается при помощи мультимодальных методов нейровизуализации [2, 13, 17, 43, 57, 58]. Причем в основе функциональных связей лежит оценка временной синхронизации между различными церебральными структурами [38]. В основе концепции коннектома лежит представление о ЦНС как структурно и функционально единого образования, имеющего многоуровневую организацию [43]. Все это привело к появлению совершенно новой науки – *системной психоневрологии*, которая представляет собой синтез клинических дисциплин (психиатрии и неврологии) с психологией, методами нейровизуализации и математического анализа.

Системная психоневрология: предугадывание событий и творческие способности. В глобальном смысле в основе интеллекта лежит способность к обучению и разрешению проблем/задач [25]. При этом важное значение имеет способность подходить нестандартно к поиску решений, прогнозировать изменения ситуации, заранее искать способ решения возможных проблем. Однако способность предугадывать (предусматривать) события будущего, что присуще человеку, довольно редко обсуждается в специальной литературе [54], хотя и рассматривается как один из базовых принципов функционирования ЦНС [7]. Процесс этот носит сложный характер и включает как планирование, так и постоянный мониторинг происходящих вокруг событий [53]. Для этого необходимо отслеживать поступающую сенсорную информацию, тормозить неверные планируемые двигательные процессы, выделять ключевые моменты ситуации и возможные ошибки при выполнении движений, а также анализировать ещё целый ряд факторов [24]. При этом наличие даже неполной (частичной) информации о предполагаемом событии усиливает/облегчает ответ на это событие [19], а механизмы предварительной подготовки к реаль-

ному движению (совершаемому) отличаются от механизмов движения, которое носит ложный характер (в конечном итоге испытуемые не получают команду совершить движение, к которому они предварительно готовились) [52].

Однако не все так однозначно. Существующие к настоящему времени данные позволяют предполагать, что творческие способности определяются на уровне системно-биологическом способностью совершать ошибки на этапе «предугадывания»/прогнозирования событий [26]. Именно этот механизм и отличает способность к творчеству от высокого уровня выполнения психометрических тестов – там требуется лишь одно правильное выполнение задания с минимальными затратами времени, и не предусматриваются какие-либо иные варианты решения.

Результаты исследований с использованием функциональной магнитно-резонансной томографии МРТ (фМРТ) свидетельствуют об участии в процессе «предугадывания» событий различных анатомических структур головного мозга (не только лобных отделов, как принято считать), причем в процессах, связанных с последующими движениями участвуют премоторная кора и кора предклинья (*precuneus*) левого полушария, а также задние отделы мозжечка справа [54]. Особое значение в процессах подготовки к движению придается премоторной коре левого полушария головного мозга [24]. Следует заметить, что даже наличие у испытуемого мысли об определенном задании (в данном исследовании использовался тест с движениями пальцев руки) сопровождается активацией тех корковых зон (лобные отделы, мозжечок), которые ответственны за реальное выполнение этих движений [31].

При этом общеизвестно, что у лиц с высокой способностью к творчеству нередко встречаются психические расстройства [26]. Возможно, что одной из биологических причин этого и является большая вероятность возникновения ошибок при передаче сигнала в структурах ЦНС. Подобное предположение подтверждается результатами исследований с применением фМРТ. Так было показано, что ошибки на этапе «предугадывания»/прогнозирования характерны для пациентов с бредовыми расстройствами [20].

В вопросе, какое полушарие головного мозга является ведущим в осуществлении творческих способностей, окончательной ясности до сих пор нет. Традиционно ведущая роль в этом процессе придается лобной коре [11, 27]. Высказывается

мнение, что в значительной мере определённые способности к творческому мышлению (включая глобальное мышление, контекст-зависимое мышление, фигуральное мышление) обеспечиваются структурами правого полушария головного мозга [41]. Однако есть данные, свидетельствующие о ведущей роли в этом процессе лобных отделов левого полушария [11].

Имеет значение, насколько оригинальными являются новые идеи [27]. Значительное продвижение в этом вопросе связано с изучением «состояния покоя» головного мозга по данным фМРТ, которое и определяет индивидуальную стратегию поведения [8]. В осуществлении способности генерировать новые идеи участвуют префронтальные, височные, теменно-затылочные отделы, а также поясная извилина [10]. Есть данные о роли росто-латеральных префронтальных и задне-теменных отделов левого полушарий и их связей [10, 11].

Большое значение не только в способности генерировать новые идеи, но и в целом – в функционировании ЦНС – имеет присущая головному мозгу особенность, связанная с его ритмической активностью. В основе ритмических флюктуаций, происходящих в течение определенного временного промежутка, лежит нейрональная активация единичных нейронов, локальных нейрональных «ансамблей» и/или нескольких нейрональных зон [37]. Спонтанно возникающие осцилляции, как считается, могут лежать в основе процесса выработки новых идей [12]. Синхронизация нейрональных осцилляций обеспечивает функционирование различной протяженности связей между нейронами, что лежит в основе механизмов «предугадывания» еще не наступивших событий, а также механизма обратной связи [37].

И здесь крайне интересным является то, что эти флюктуации могут быть нелинейными/неритмичными/хаотичными. Нелинейная динамика флюктуаций может объяснить нередкую непредсказуемость поведенческих реакций, возникновение абсолютно разных реакций на минимально отличающиеся внешние стимулы [39]. Для систем, построенных на принципах нелинейной динамики (хаоса), характерно низкое соотношение сигнал/шум (поэтому их регистрация затруднена), они не могут быть оценены при использовании повсеместно применяемых статистических методов, а требуют специального подхода (для их описания используют сложные математические методы) [39].

В литературе обсуждается вопрос использования слуховой ритмичной стимуляции, в частности, музыкальных произведений – как метода позитивного эмоционального воздействия при различных болезнях – под контролем современных методов нейровизуализации [35]. Несмотря на высказываемые в развернувшейся дискуссии возражения этой идеи, преимущественно технического характера (наличие шумовых помех при исследовании, частую необходимость в проведении повторных исследований и т.п.), сама по себе эта идея встретила поддержку, хотя и не без доли иронии [29]. Использование музыки в качестве терапии при болезни Альцгеймера, например, проводилось и раньше, однако в настоящее время показано влияние этого вида терапии на гормональный статус больных (увеличение выработки обладающих превентивным эффектом при болезни Альцгеймера 17β -эстрадиола и тестостерона; в это исследование были включены только женщины) [28], а также активацию различных отделов головного мозга по данным позитронной эмиссионной томографии [34] и фМРТ [49].

На основании результатов электроэнцефалографии (ЭЭГ) и транскраниальной магнитной стимуляции (ТКМС) было показано, что успешное сохранение актуальной информации зависит от синхронизации специфических (тета- и гамма-) ритмов, а подавление неверной/ненужной информации определяется альфа-ритмом [36, 47, 48]. При этом усиление альфа-ритма увеличивает подавление ненужных сведений и усиливает мнестические способности [47, 48]. Таким образом, альфа-ритм рассматривается как важная составляющая ингибиторного контроля деятельности головного мозга [36]. ТКМС, подавляя одни церебральные зоны и активируя другие, расценивается как методика, непосредственно действующая на нейропластичность [47, 48]. Однако здесь надо учитывать основной принцип функционирования головного мозга – минимизацию собственных энергетических затрат при условии достижения поставленной цели. Таким образом и получается, что достижение, в данном случае, улучшения памяти, будет сопровождаться ухудшением в других когнитивных сферах. Кроме того, высказываемое некоторыми авторами предположение об ингибиторных свойствах альфа-ритма в дальнейшем подверглось серьёзной критике [9].

Энергетический баланс как основа функционирования коннектома. Головной мозг функционирует «экономически целесообразно» – иными

словами, поставленная цель достигается с минимально возможными энергетическими затратами [32]. Именно эту цель и позволяет достигнуть системная организация церебральных связей, как анатомических, так и функциональных, что подтверждают и результаты компьютерного моделирования.

При помощи фМРТ в BOLD-режиме (сокр. англ. Blood Oxygen Level-Dependent, русск. – зависимый от оксигенации крови) были выявлены медленные спонтанные флюктуации церебральной активности частотой менее 0,1 Гц (0,01-0,1 Гц), характеризующиеся наличием корреляционных зависимостей между некоторыми церебральными отделами (например, между соматосенсорной корой левого и правого полушария головного мозга) [18, 32, 56]. Причем связи между различными отделами головного мозга имеются вне действия каких-либо внешних стимулов («состояние покоя») [32, 56]. Характер связей в «состоянии покоя» нередко, хотя и не всегда, совпадает со связями в условиях внешних воздействий (например, при предъявлении зрительных стимулов или при выполнении тестов на мнестические функции) [32].

Однако так называемое «состояние покоя» к собственно покою отношение имеет весьма малое – большая часть церебральных энергетических затрат приходится именно на это «состояние покоя» [32]. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что в процессе выполнения тех или иных заданий уровень церебрального метаболизма меняется не столь значительно (повышается менее чем на 5%) – большая часть потребляемой веществом головного энергии тратится на поддержание его фоновой активности [44, 45, 60]. В основном энергозатраты приходятся на глутаматергические нейроны, а около 20% энергии используется тормозящими ГАМК-ергическими нейронами [32].

Биологическое значение флюктуаций церебральной активности в «состоянии покоя» является предметом активно проводимых исследований. Предположение о том, что столь значительные энергозатраты требуются для поддержания «в готовности к действию» существующие церебральные структуры [32], представляется малоубедительным и весьма далеким от действительности.

Высказывается предположение, что с целью экономии энергозатрат в «состоянии покоя» головной мозг с циклическостью несколько раз

в секунду меняет собственный энергетический потенциал – от максимального до минимального [42]. При этом в состоянии максимальных энергозатрат он становится крайне чувствительным к преходящим извне стимулам, а в целом экономия энергии достигается за счет циклически же возникающих периодов выраженного снижения метаболизма. В результате в периоды максимальной чувствительности/максимальных энергозатрат нейроны могут воспринимать даже слабые воздействия (например, действие нескольких фотонов) – не используя методы, аналогичные резонансу. К слову, подобным механизмом циклическости авторы объясняют благоприятный эффект медитации, характерный, разумеется, для владеющих специальными приемами людей [42]. Срыв этого циклического механизма приводит к резкому повышению затрат энергии в единицу времени, что клинически может проявляться, например, эпилептическими припадками или психотическими расстройствами.

При этом сознание рассматривается как процесс и рассеянный/диссеминированный в структурах головного мозга, и интегрированный одновременно. В зависимости от поставленной на данный момент цели и происходит активация тех или иных структур, для выполнения этой цели предназначенных. В этой связи весьма интересными выглядят данные о «смешанных осцилляциях» (англ. «mixed-mode oscillations») [23]. Подчеркивается, что этот тип хаотичных осцилляций в различных отделах головного мозга весьма сложен для изучения, поскольку требует, в частности, нелинейные методы регистрации, а отражает он, возможно, более тонкие, чем обычно регистрируемые при помощи ЭЭГ нейрональные процессы, клиническое значение которых требует изучения [23]. В этой связи высказанное выше предположение о дискретном характере активации/функционировании головного мозга в контексте «смешанных осцилляций» представляется не таким уж невозможным.

Системная психоневрология: некоторые клинические аспекты. Полученные в настоящее время данные позволяют по-иному взглянуть на патогенез ряда неврологических и психических заболеваний, включая болезнь Альцгеймера, рассеянный склероз, шизофрению [32]. Однако особого внимания в силу своей медико-социальной значимости заслуживает инсульт. Реорганизация головного мозга после перенесенного инсульта является динамическим много-

факторным процессом, в котором играют роль и локализация инсультного очага, и его размеры, и время, прошедшее с начала заболевания, и тяжесть неврологического (особенно двигательного) дефекта, и генетические факторы, многие из которых до настоящего времени остаются неизвестными [33, 40, 46, 59].

Нарушение церебральных связей при инсульте происходит вследствие их непосредственного поражения в ишемической зоне, а также вторично, на расстоянии, вследствие различных патогенетических механизмов [56]. Так, при локальной церебральной ишемии происходит формирование очага некроза, при этом также отмечается нарушение функционирования окружающей зону ишемии ткани, включая проходящие в ней проводящие пути. Кроме того, вследствие различных механизмов (апоптоз, нейровоспаление, дишиз, нейродегенерация) происходит поражение находящихся на удалении церебральных отделов, включая непораженное полушарие головного мозга [56].

Наличие подобных изменений было подтверждено в целом ряде исследований. Было показано, что при субкортикальном ишемическом инсульте происходит нарушение прямых и не прямых связей не только близ очага ишемии, но и в противоположном полушарии головного мозга [21]. В основе подобных нарушений лежит поражение белого вещества по механизму антероградной (валлеровской) и ретроградной дегенерации [21]. Под валлеровской дегенерацией понимается антероградное повреждение проводящих путей головного мозга (аксонов и их миелиновой оболочки) вследствие нейродегенеративных изменений после проксимального аксонального поражения [56].

Изменения при очаге субкортикальной локализации затрагивают и двигательные корковые зоны как ипси-, так и контрлатерального полушария головного мозга [30]. Помимо этого у больных, перенесших острое нарушение мозгового кровообращения, были выявлены церебральные связи, характеризующиеся повышенной активностью, что авторы объясняют адаптивными постинсультными механизмами [21]. При хорошем функциональном восстановлении активация в зоне поражения возвращается к норме, однако двигательные связи остаются поврежденными [50].

Следует заметить, что кортико-спинальный путь формируется не только от первичной моторной коры – в него входят волокна нейронов,

располагающихся в премоторной и дополнительной моторной коре [56]. Кроме того, на процесс восстановления после инсульта может влиять поражение экстрапирамидных путей, обеспечивающих адаптивные изменения структурных двигательных путей [56]. Следует подчеркнуть, что при инсульте, в том числе и субкортикальной локализации, именно нарушение связей является более важным в плане постинсультного восстановления, чем изменения в ишемической зоне [30, 50]. Особое значение придается активации связей пораженных отделов с премоторной корой, играющей важную роль в подготовке и планировании движений [50]. Одностороннее поражение кортико-спинальных путей сопровождается значительным нарушением связей в различных двигательных корковых зонах, а также нарушением межполушарных взаимодействий [14, 56]. Причем изменения связей были выявлены не только при клинически явных инсультах, но даже и при «тихих» субкортикальных инфарктах [16].

Изучение «состояния покоя» у лиц, перенесших инсульт, показало, что у них снижается выраженность межполушарных функциональных связей между корковыми зонами, и, вне зависимости от степени восстановления утраченных функций, снижается глобальная эффективность существующих связей [46]. Одной из причин снижения межполушарных связей является вторично наступающая дегенерация миелина [46]. При этом в норме правое полушарие головного мозга доминирует в плане ингибиторного контроля [22]. При инсульте существующие в норме отношения нарушаются. Кроме того, было показано, что степень двигательного восстановления после перенесенного инсульта в определенной мере зависит от сохранности первично-недвигательных путей [6].

Заключение. Полученные в настоящее время данные позволяют выделить отдельное направление в области нейронаук – *системную психоневрологию*, которая объединяет в себе и клинические дисциплины, и методы нейровизуализации, и математические методы. Именно подобный комплексный подход позволил сформулировать концепцию коннектома, что открыло новые возможности для изучения деятельности столь сложно организованной системы, как головной мозг. Используя данные нейровизуализации, в настоящее время на основании модели коннектома активно проводятся исследования, направленные на создание компьютерной модели, которая могла

бы предсказывать поведенческие реакции человека [51]. Один из таких проектов позволяет в течение 10-100 мин построить компьютерную модель, от 1 до 48 часов требуется для ее тестирования и от 10 до 20 мин – на визуализацию результатов [51].

Однако коннектом – суть биологическая система, аналогия с искусственным интеллектом хотя и прослеживается, но занимает она далеко не первое место. В основе функционирования коннектома лежит принцип параллельной, а не последовательной обработки информации. С учетом присущих головному мозгу (во всяком случае, его некоторым отделам) способности к генерации спонтанных неритмичных осцилляций, это приводит к осуществлению базового принципа функционирования центральной нервной системы – минимизации энергозатрат. Кроме того, наличие спонтанных неритмичных осцилляций (принцип «неопределенности»), вероятно, определяет и присущую человеку способность к интуитивному мышлению, выработке новых идей.

Впрочем, системная психоневрология со всеми ее аспектами, как теоретическими, так и практическими, находится еще в самом начале своего пути.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дамулин И.В. Коровые связи, синдром «разобщения» и высшие мозговые функции // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2015. №115 (11). С. 107–111.
2. Дамулин И.В. Особенности структурной и функциональной организации головного мозга // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2016. № 116 (11). С. 163–168.
3. Дамулин И.В., Сиволап Ю.П. Расстройство фронтосубкортикальных связей в нейропсихиатрии // Неврологический вестник им. В.М. Бехтерева. 2015. №4. С. 78–82.
4. Дамулин И.В., Сиволап Ю.П. Неврологические нарушения при шизофрении: клинические особенности и патогенетические аспекты // Российский медицинский журнал. 2016. №22 (5). С. 267–271.
5. Дамулина А.И., Коновалов Р.Н., Кадыков А.С. Постинсультные когнитивные нарушения // Неврологический журнал. 2015. №20 (1). С. 12–19.
6. Almeida S. R. M., Vicentini J., Bonilha L. et al. Brain connectivity and functional recovery in patients with ischemic stroke // Journal of Neuroimaging. 2016. Vol. 27 (1). P. 65–70.
7. Bar M. Predictions: a universal principle in the operation of the human brain. In: Predictions in the Brain. Using Our Past To Generate A Future. Ed. by M. Bar. Preface. - Oxford etc.: Oxford University Press, Inc., 2011.
8. Barnes K. A., Anderson K. M., Plitt M., Martin A. Individual differences in intrinsic brain connectivity predict decision strategy // Journal of Neurophysiology. 2014. Vol. 112 (8). P. 1838–1848.
9. Basar E., Basar-Eroglu C., Guntekin B., Yener G.G. Brain's alpha, beta, gamma, delta, and theta oscillations in neuropsychiatric diseases. In: Application of Brain Oscillations in Neuropsychiatric Diseases (Supplements to Clinical Neurophysiology, Vol. 62). E. Basar et al. (eds.). Ch.2. Amsterdam etc.: Elsevier Inc., 2013. P. 19–54.
10. Bendetowicz D., Urbanski M., Garcin B. et al. Brain correlates of creative abilities to combine remote ideas in healthy subjects and in patients // International Journal of Psychophysiology. 2016. Vol. 108. P. 56.
11. Bendetowicz D., Urbanski M., Aichelburg C. et al. Brain morphometry predicts individual creative potential and the ability to combine remote ideas // Cortex. 2017. Vol. 86. P. 216–229.
12. Bob P. Chaos, cognition and disordered brain // *Activitas Nervosa Superior*. 2008. Vol. 50 (4). P. 114–117.
13. Bullmore E., Sporns O. Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems // *Nature Reviews Neuroscience*. 2009. Vol. 10 (3). P. 186–198.
14. Carter A.R., Patel K.R., Astafiev S.V. et al. Upstream dysfunction of somatomotor functional connectivity after corticospinal damage in stroke // *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2012. Vol. 26 (1). P. 7–19.
15. Catani M., Mesulam M. What is a disconnection syndrome? // *Cortex*. 2008. Vol. 44 (8). P. 911–913.
16. Chen Y., Wang A., Tang J., Wei D., Li P., Chen K., Wang Y., Zhang Z. Association of white matter integrity and cognitive functions in patients with subcortical silent lacunar infarcts // *Stroke*. 2015. Vol. 46 (4). P. 1123–1126.
17. Collin G., van den Heuvel M.P. The ontogeny of the human connectome // *The Neuroscientist*. 2013. Vol. 19(6). P. 616–628.
18. Colom R., Thompson P.M. Understanding human intelligence by imaging the brain. In: *The Wiley-Blackwell Handbook of Individual Differences*. T. Chamorro-Premuzic et al. (eds.). Ch.12. Chichester: Blackwell Publishing Ltd., 2011. P. 330–352.
19. Cookson S.L., Hazeltine E., Schumacher E.H. Neural representation of stimulus-response associations during task preparation // *Brain Research*. 2016. Vol. 1648. P. 496–505.
20. Corlett P.R., Murray G.K., Honey G.D. et al. Disrupted prediction-error signal in psychosis: evidence for an associative account of delusions // *Brain*. 2007. Vol. 130 (9). P. 2387–2400.
21. Crofts J.J., Higham D.J., Bosnell R. et al. Network analysis detects changes in the contralesional hemisphere following stroke // *NeuroImage*. 2011. Vol. 54 (1). P. 161–169.
22. D'Alberto N., Funnell M., Potter A., Garavan H. A split-brain case study on the hemispheric lateralization of inhibitory control // *Neuropsychologia*. 2017. Vol. 99. P. 24–29.
23. Erchova I., McGonigle D.J. Rhythms of the brain: An examination of mixed mode oscillation approaches to the analysis of neurophysiological data. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. 2008. Vol. 18 (1). P. 015115-1-015115-14.
24. Fassbender C., Foxe J.J., Garavan H. Mapping the functional anatomy of task preparation: Priming task-appropriate brain networks // *Human Brain Mapping*. 2006. Vol. 27(10). P. 819–827.
25. Fidelman U. Intelligence and the brain's energy consumption: what is intelligence? // *Personality and Individual Differences*. 1993. Vol. 14 (1). P. 283–286.
26. Fidelman U. Creativity: relation to neural transmission errors // *Kybernetes*. 2011. Vol. 40 (5/6). P. 697–702.
27. Fink A., Benedek M. The creative brain: brain correlates underlying the generation of original ideas. / In: *Neuroscience of*

Creativity. O.Vartanian et al. (eds.). Ch.10. Cambridge, London: The MIT Press, 2013. P. 207–231

28. Fukui H., Arai A., Toyoshima K. Efficacy of music therapy in treatment for the patients with Alzheimer's disease // *International Journal of Alzheimer's Disease*. 2012. P. 1-6.

29. Goebel R. Response to Karaszewski: Creating significant art products requires the brains of artists // *Trends in Cognitive Sciences*. 2008. Vol. 12 (5). P. 172–173.

30. Grefkes C., Nowak D.A., Eickhoff S.B., Dafotakis M., Kust J., Karbe H., Fink G.R. Cortical connectivity after subcortical stroke assessed with functional magnetic resonance imaging // *Annals of Neurology*. 2008. Vol. 63 (2). P. 236–246.

31. Gregory M.D., Robertson E.M., Manoach D.S., Stickgold R. Thinking about a task is associated with increased connectivity in regions activated by task performance // *Brain Connectivity*. 2016. Vol. 6 (2). P. 164–168.

32. Guo J.N., Blumenfeld H. Network imaging. In: *Neuronal Networks in Brain Function, CNS Disorders, and Therapeutics*. C.L.Faingold, H.Blumenfeld (eds.). Ch.6. Amsterdam etc.: Elsevier Inc., 2014. P.77–89.

33. Jiang L., Xu H., Yu C. Brain connectivity plasticity in the motor network after ischemic stroke // *Neural Plasticity*. 2013. P. 1–11.

34. Kanemaru K., Kanemaru A., Ishii K. Activation of frontal lobe by music therapy in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease revealed by FDG-PET // *Alzheimer's & Dementia*. 2011. Vol. 7 (4). S. 655.

35. Karaszewski B. Sub-neocortical brain: a mechanical tool for creative generation? // *Trends in Cognitive Sciences*. 2008. Vol. 12 (5). P. 171–172.

36. Klimesch K., Sauseng P., Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: The inhibition–timing hypothesis // *Brain Research Reviews*. 2007. Vol. 53 (1). P. 63–88.

37. Mathalon D.H., Sohal V.S. Neural oscillations and synchrony in brain dysfunction and neuropsychiatric disorders // *JAMA Psychiatry*. 2015. Vol. 72 (8). P. 840–844.

38. Mears D., Pollard H.B. Network science and the human brain: Using graph theory to understand the brain and one of its hubs, the amygdala, in health and disease // *Journal of Neuroscience Research*. 2016. Vol. 94 (6). P. 590–605.

39. Melancon G., Joannette Y. Chaos, brain, and cognition: toward a nonlinear order? // *Brain and Cognition*. 2000. Vol. 42. P. 33–36.

40. Mergenthaler P., Dirnagl U., Kunz A. Ischemic Stroke: Basic Pathophysiology and Clinical Implication. / In: *Neuroscience in the 21st Century. From Basic to Clinical*. Second Edition. D.W.Pfaff, N.D.Volkow (Editors-in-Chief). Ch.181. New York: Springer, 2016. P. 3385–3405.

41. Mihov K.M., Denzler M., Forster J. Hemispheric specialization and creative thinking: A meta-analytic review of lateralization of creativity // *Brain and Cognition*. 2010. Vol. 72 (3). P. 442–448.

42. Nuallain S.O., Doris T. Consciousness is cheap, even if symbols are expensive; metabolism and the brain's dark energy // *Biosemiotics*. 2011. Vol. 5 (2). P. 193–210.

43. Petersen S.E., Sporns O. Brain networks and cognitive architectures // *Neuron*. 2015. Vol. 88 (1). P. 207–219.

44. Raichle M.E. Two views of brain function // *Trends in Cognitive Sciences*. 2010. Vol. 14 (4). P. 180–190.

45. Raichle M.E., Snyder A.Z. Intrinsic Brain Activity and Consciousness. In: *The Neurology of Consciousness. Cognitive Neuroscience and Neuropathology*. 2nd ed. Ed. by S.Laureys et al. Amsterdam etc.: Elsevier Ltd., 2009. P. 81–88.

46. Rehme A.K., Grefkes C. Cerebral network disorders after stroke: evidence from imaging-based connectivity analyses

of active and resting brain states in humans // *The Journal of Physiology*. 2013. Vol. 591 (1). P. 17–31.

47. Robertson E.M. Brain rhythms: enhancing memories // *Current Biology*. 2009. Vol. 19 (21). R992–R994.

48. Sauseng P., Klimesch W., Heise K.F. et al. Brain oscillatory substrates of visual short-term memory capacity // *Current Biology*. 2009. Vol. 19 (21). P. 1846–1852.

49. Shahinfard E., Hsiung G.-Y.R., Boyd L., Jacova C., Slack P., Kirkland K. An fMRI study to investigate the benefits of music therapy in patients with Alzheimer's disease // *Alzheimer's & Dementia*. 2016. Vol. 12 (7). P1030–P1031.

50. Sharma N., Baron J.-C., Rowe J.R. Motor imagery after stroke: Relating outcome to motor network connectivity // *Annals of Neurology*. 2009. Vol. 66 (5). P. 604–616.

51. Shen X., Finn S.S., Scheinost D. et al. Using connectome-based predictive modeling to predict individual behavior from brain connectivity // *Nature Protocols*. 2017. Vol. 12 (3). P. 506–518.

52. Sterr A. Preparing not to move: Does no-response priming affect advance movement preparation processes in a response priming task? // *Biological Psychology*. 2006. Vol. 72 (2). P. 154–159.

53. Szpunar K.K., Tulving E. Varieties of future experience. In: *Predictions in the Brain. Using Our Past To Generate A Future*. Ed. by M.Bar. Ch.1. Oxford etc.: Oxford University Press, Inc., 2011. P. 3–12

54. Szpunar K.K., Watson J.M., McDermott K.B. Neural substrates of envisioning the future // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007. Vol. 104 (2). P. 642–647.

55. Thiebaut de Schotten M., Kinkingnehun S., Delmaire C. et al. Visualization of disconnection syndromes in humans // *Cortex*. 2008. Vol. 44 (8). P. 1097–1103.

56. Thiel A., Vahdat S. Structural and resting-state brain connectivity of motor networks after stroke // *Stroke*. 2014. Vol. 46 (1). P. 296–301.

57. van den Heuvel M.P., Sporns O. Network hubs in the human brain // *Trends in Cognitive Sciences*. 2013. Vol. 17 (12). P. 683–696.

58. van den Heuvel M.P., Bullmore E.T., Sporns O. Comparative connectomics // *Trends in Cognitive Sciences*. 2016. Vol. 20 (5). P. 345–361.

59. Varsou O., Macleod M.J., Schwarzbauer C. Functional connectivity magnetic resonance imaging in stroke: an evidence-based clinical review // *International Journal of Stroke*. 2014. Vol. 9 (2). P. 191–198.

60. Zhang D., Raichle M.E. Disease and the brain's dark energy // *Nature Reviews Neurology*. 2010. Vol. 6 (1). P. 15–28.

REFERENCES

1. Damulin I.V. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova*. 2015. №115 (11). pp. 107–111. (in Russian)
2. Damulin I.V. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova*. 2016. №116 (11). pp. 163–168. (in Russian)
3. Damulin I.V., Sivolap Yu.P. *Nevrologicheskii vestnik im. V.M. Bekhtereva*. 2015. №4. pp. 78–82. (in Russian)
4. Damulin I.V., Sivolap Yu.P. *Rossiiskii meditsinskii zhurnal*. 2016. №22 (5). pp. 267–271. (in Russian)
5. Damulina A.I., Kononov R.N., Kadykov A.S. *Nevrologicheskii zhurnal*. 2015. №20 (1). pp. 12–19. (in Russian)

Поступила 17.05.17