

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЭЭГ-МАРКЕРЫ ОПОЗНАНИЯ СЛУХОВЫХ ОБРАЗОВ В НОРМЕ И ПРИ ПСИХОПАТОЛОГИИ

© К.А. Бельская, Ю.В. Суровицкая, С.А. Лытаев

ГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России

Поступила в редакцию: 01.07.2016

Принята к печати: 11.08.2016

Психофизиологические механизмы развития дисфункций когнитивных процессов остаются недостаточно изученными. Целью настоящего исследования явилось моделирование пространственно-временных параметров когерентной оценки электроэнцефалографии (ЭЭГ) при слуховом опознании в норме и в условиях психопатологии. Было обследовано 40 здоровых испытуемых и 72 пациента с гомогенными психопатологическими состояниями депрессивного характера (средний возраст $34 \pm 3,4$ года) с применением стандартных и оригинальных исследовательских методик. Индивидуально-психологические характеристики и степень выраженности когнитивного дефекта оценивали по данным клинического интервью, исследования слухоречевой памяти, традиционных методов оценки ситуационной и личностной тревожности, дифференциальной диагностики депрессии. Исследование проведено в СПб ГБУЗ «Психоневрологический диспансер № 1». Использовали оригинальный метод изучения восприятия слуховых образов, аудиометрию, компьютерную электроэнцефалографию с многомерной математической обработкой и психологический анализ состояния высших психических функций у больных с параноидной шизофренией и лиц контрольной группы. Анализ когерентности альфа- и бета-ритмов ЭЭГ при решении когнитивных задач по опознанию слуховых образов позволил обнаружить, что функциональное взаимодействие корковых зон в норме существенно повышается по сравнению с фоновой ЭЭГ. Установлены особенности топографии функциональных связей по альфа- и бета-ритмам ЭЭГ при восприятии слуховой информации. Фокусы взаимодействия регистрируются в лобных областях. Здесь отмечается интеграция этих фронтальных зон с передними ассоциативными и височными отделами коры левого полушария, а также с теменными и затылочными зонами обоих полушарий. При психопатологии установлено снижение числа когерентных связей, нарушение формирования фокусов когерентности.

Ключевые слова: ЭЭГ; когерентный анализ; слуховые образы; восприятие; когнитивные функции.

SPATIO-TEMPORAL EEG MARKERS FOR RECOGNITION AUDITORY IMAGES IN NORM AND PSYCHOPATHOLOGY

© K.A. Belskaya, Y.V. Surovitskaya, S.A. Lytaev

Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Russia

For citation: Pediatrician (St Petersburg), 2016;7(3):49-55

Received: 01.07.2016

Accepted: 11.08.2016

The psychophysiological mechanisms of cognitive processes dysfunctions remain poorly understood. The purpose of this study was to modeling spatial-temporal parameters of coherent EEG assessment during auditory recognition in normal conditions and psychopathology. 40 healthy subjects and 72 patients with homogeneous psychopathological states depressive nature (average age of 34 ± 3.4 years) using the standard and original research methods were investigated. Individual-psychological characteristics and the severity of cognitive defect was evaluated according to the clinical interview, research verbal memory, the traditional methods of evaluating situational and personal anxiety, the differential diagnosis of depression. The study was conducted in St Petersburg "Psycho-Neurological Clinic No 1". We have used the original method of studying the perception of auditory images, audiometry, computer electroencephalography with multidimensional mathematical treatment and psychological analysis of higher mental functions in patients with paranoid schizophrenia and control normal subjects. Analysis of coherence alpha- and beta-EEG rhythms in solving cognitive tasks for recognition of auditory images revealed that the functional interaction of the cortical areas normally significantly increased compared to background EEG. The features of the topography of functional relationships of alpha- and beta-EEG rhythms in the perception of auditory information are confirmed. Focuses interactions are recorded in the frontal areas. It marked the integration of these frontal zones with front associative cortex and temporal areas of the left hemisphere, as well as parietal and occipital areas of both hemispheres. At psychopathology reducing the number of coherent communications, violation of the formation of foci of coherence was registered.

Keywords: EEG; coherent analysis; auditory images; perception; cognitive functions.

ВВЕДЕНИЕ

Феномен психического равновесия является критерием психического здоровья, включающий гармонию взаимодействия различных сфер личности, прежде всего когнитивной, эмоциональной, волевой. Нарушение любого компонента психического функционирования приводит к личностной деградации, деструкции, социальной и персональной дезадаптации [9].

Психоэмоциональный стресс, огромные потоки информации, монотонность труда, эмоциональное напряжение модулируют психические процессы и механизмы мозгового обеспечения психики, способствуя росту количества психических заболеваний [1, 2, 6, 10].

Кроме того, в структуре психических расстройств регистрируются дефекты сенсорного восприятия, эмоциональная и когнитивная несостоенность, неуверенность суждений и умозаключений, парциальная интеллектуальная недостаточность [3, 4, 7, 8].

В связи с практической значимостью таких аспектов нарушений когнитивного функционирования, как трудности обучения, развитие творческих и коммуникативных способностей человека, в нейронауках наблюдается возрастающий интерес к психофизиологическим исследованиям индивидуальных особенностей восприятия и мышления [10, 15, 16].

Поскольку психическая деятельность включает компоненты восприятия, построения образа, памяти и мыслительные акты, любое нарушение образных (невербальных) компонентов мышления неизбежно приводит к снижению когнитивной продуктивности. Такого рода парциальные психопатологические расстройства носят, как правило, коморбидный, смешанный характер, негативно отражаются на всех аспектах психической жизни человека, приводят к стойкой социальной дезадаптации, но далеко не всегда учитываются в практической психоневрологии [1, 9].

В психоневрологии диагностика психопатологических расстройств осуществляется преимущественно на основе клинических критериев и психометрии. Традиционно клиническая диагностика дополняется классическим электроэнцефалографическим исследованием (ЭЭГ-исследованием) — регистрацией биоэлектрической активности мозга в состоянии относительного покоя (фон) с последующим изучением реактивных особенностей с помощью стандартного алгоритма функциональных проб [6, 8].

Более информативные исследования перцептивно-аналитической деятельности мозга с при-

менением когерентного анализа ЭЭГ и когнитивных нагрузок носят избирательный характер. Нейрометрические, объективные оценки функционального состояния анализаторов и интегративной деятельности мозга применяются преимущественно в специализированных лабораториях [5, 8, 16, 22].

Качество мыслительного процесса во многом определяется сохранностью физиологических механизмов восприятия в целом и опознания в частности. По данным ряда исследователей, при психопатологических расстройствах, например, при шизофрении, происходит существенное искажение когнитивных функций, в первую очередь на уровне восприятия и опознания образов. Психофизиологические механизмы развития дисфункций когнитивных процессов остаются недостаточно изученными [5].

Целью настоящего исследования явилось моделирование пространственно-временных параметров когерентной оценки ЭЭГ при слуховом опознании в норме и в условиях психопатологии.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Было обследовано 40 здоровых испытуемых и 72 пациента с гомогенными психопатологическими состояниями депрессивного характера (средний возраст $34 \pm 3,4$ года) с применением стандартных и оригинальных исследовательских методик. Индивидуально-психологические характеристики и степень выраженности когнитивного дефекта оценивали по данным клинического интервью, исследования слухоречевой памяти, традиционных методов оценки ситуационной и личностной тревожности, дифференциальной диагностики депрессии. Исследование проведено в СПб ГБУЗ «Психоневрологический диспансер № 1».

Использовали оригинальный метод изучения восприятия слуховых образов [16], аудиометрию, компьютерную электроэнцефалографию с многомерной математической обработкой и психологический анализ состояния высших психических функций у больных с параноидной шизофренией и лиц контрольной группы.

Особенности слухового восприятия оценивали по оригинальной методике «Распознавание слуховых образов». Инструкция и задачи были понятны всем больным, не требовали усвоения и выполнения сложных действий. Пациентам предлагалось прослушивать и опознавать слуховые образы. Для усиления напряженности процесса прослушивания образы предъявляли не изолированно, а в виде единой непрерывной серии общей дли-

Таблица 1

Образы для аудиотестирования

№ п / п	Слуховой образ	№ п / п	Слуховой образ
1	Стрельба	11	Крик петуха
2	Шум работающего винта вертолета	12	Бой курантов
3	Звонок телефона	13	Шум проезжающего поезда
4	Лай собаки и вой волка	14	Звук горного ручья
5	Плач ребенка	15	Звук двигателя самолета
6	Пение птиц	16	Звук сигнализации автомобиля
7	Шум города	17	Скрип двери
8	Шум дрели	18	Шум моря
9	Гроза	19	Звонок будильника
10	Звук двигателя автомобиля	20	Шум горного ручья

тельностью 10 мин (20 слуховых образов по 30 с) (табл. 1).

Интервал между образами составил 3 с. Фрагменты были записаны на цифровой носитель и подавались бинаурально. Уровень звукового давления был комфортным и составлял 80 дБ над порогом слышимости.

ЭЭГ регистрировали в предстимульный период, а также синхронно с восприятием чистых и зашумленных слуховых образов. Для анализа данных ЭЭГ применяли программное обеспечение WIN-EEG, разработанное в Институте мозга человека РАН. Применяли когерентный анализ ЭЭГ, выбирали безартефактные участки, длительность которых устанавливалась экспериментально. Достоверность полученных результатов оценивали по критерию Стьюдента. Данные представляли в виде индивидуальных когерентограмм и диаграмм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

У здоровых испытуемых в состоянии покоя в диапазоне доминирующего альфа-ритма сохранялись межполушарные когерентные связи между лобными, центральными, теменными, височными и затылочными областями мозга. Уровень интегративных процессов на этой частоте достоверно преобладал во фронтальных отделах мозга и снижался по направлению к затылочным зонам, что соответствует физиологической норме (рис. 1, а).

Во время выполнения двух серий слухогностических задач отмечалось явное повышение уровня когерентности в частотной полосе альфа-ритма с сохранением лобно-затылочного градиента. У большинства испытуемых отмечалось усиление функциональных связей между передними и задними височными зонами, отражающими переработку информации в слуховых модальноспецифических

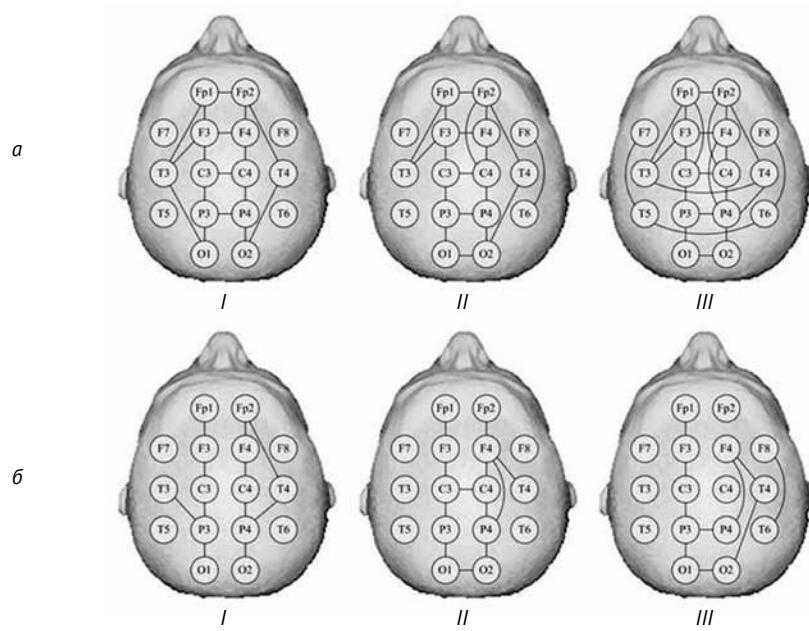


Рис. 1. Пространственное распределение когерентного альфа-ритма у здоровых (а) и больных шизофренией (б) в фоновой электроэнцефалографии (I) при восприятии чистых слуховых образов (II) и при восприятии зашумленных слуховых образов (III)

отделах коры, а также усиление лобно-височной и лобно-центральной интеграции в правом полушарии (см. рис. 1, а).

Таким образом, у здоровых испытуемых при восприятии чистых слуховых образов отмечалось умеренное, а при восприятии зашумленных образов более значительное повышение когерентного взаимодействия между височной и лобной областями мозга в обоих полушариях. Обращает внимание тенденция к формированию фокуса когерентности в правом лобно-височном регионе и усиление взаимодействия височной и теменной корковых полей в альфа-частотном диапазоне.

У лиц с психопатологией в фоновой ЭЭГ базовая когерентность характеризовалась «обедненными» функциональными межцентральными связями по сравнению с контрольной группой (рис. 1, б). При восприятии чистых и зашумленных слуховых образов паттерн альфа-когерентных связей больных шизофренией не претерпел существенной перестройки.

В свою очередь, восприятие зашумленных слуховых образов сопровождалось появлением дополнительных продольных связей между нижней фронтальной и задневисочной областями ($p < 0,05$) ($F8-T6$) и формированием новой достоверной ($p < 0,02$) связью между средней височной и затылочной областями в правом полушарии ($T4-O2$). Также отмечалось умеренное усиление межполушарного взаимодействия за счет появления новых связей между затылочными областями мозга (см. рис. 1).

Смещение фокуса межполушарного взаимодействия из лобных отделов мозга, характерного для нормы, в затылочную область свидетельствует

об установлении патологической системы когерентных связей в ходе пролонгации шизофренического процесса.

Таким образом, у больных шизофренией в доминирующем частотном диапазоне выявлена генерализованная дезинтеграция, захватывающая как внутри-, так и межполушарные когерентные связи. В результате нарушения межцентральных отношений затруднено проведение нервных импульсов по межполушарным и внутриполушарным связям мозга, что приводит к нарушению восприятия и опознания слуховых образов, затруднению интеграции информации и формированию когнитивного снижения.

У здоровых испытуемых в фоновой ЭЭГ в бета-диапазоне зарегистрированы достоверные ($p < 0,001$) межполушарные связи между фронтальными ($F3-F4$), центральными ($C3-C4$) и затылочными точками регистрации (рис. 2, а). Отмечены поперечные когерентные связи в коротких парах отведений между височными и центральными областями в левом ($T 3-C3$) и правом ($T 4-C4$) полушариях головного мозга ($p < 0,05$).

Внутриполушарные короткие продольные связи четко представлены на всем пространстве левого ($Fp1-F3$, $F3-C3$, $C3-P3$, $P3-O1$) и правого ($Fp2-F4$, $F4-C4$, $C4-P4$, $P4-O2$) полушарий мозга. Важным показателем, характерным для нормальных интегративных процессов мозга, является наличие когерентных связей в левом переднем квадранте мозга ($Fp1-T3$, $F3-T3$).

При восприятии чистых слуховых образов происходит перегруппировка когерентных связей, появляются дополнительные внутриполушарные и межполушарные связи (см. рис. 2, а).

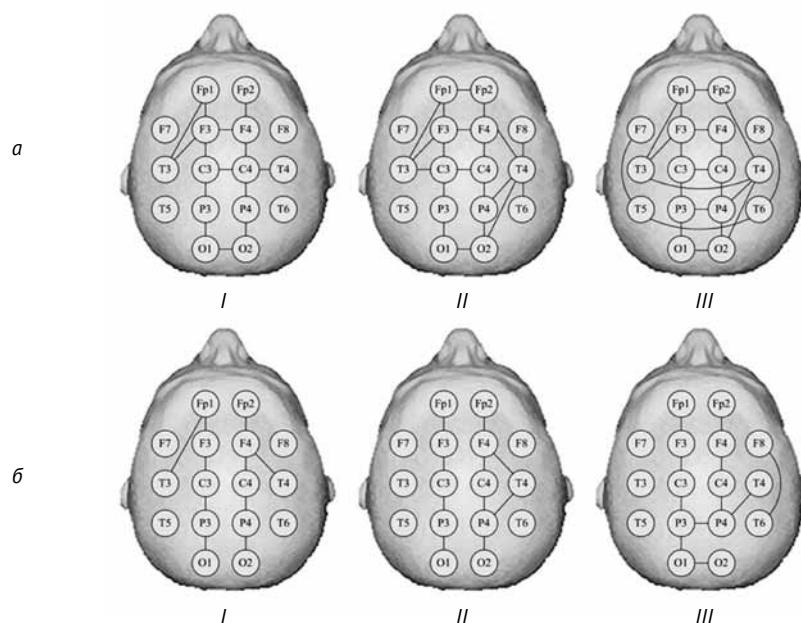


Рис. 2. Бета-когерентные связи в группе здоровых (а) и больных шизофренией (б) в фоновой электроэнцефалографии (I) при восприятии чистых слуховых образов (II) и при восприятии зашумленных слуховых образов (III)

При восприятии зашумленных слуховых образов количество функциональных связей увеличилось как в межполушарных, так и внутриполушарных точках регистрации. Фокусы когерентной активности четко определились в левом лобно-височном и правом височно-теменно-затылочном регионах мозга. Существенно возросли поперечные межполушарные связи между лобными, затылочными и отчасти височными отделами мозга.

При психопатологии в фоновой ЭЭГ достоверно ($p < 0,05$) доминировали внутриполушарные продольные парасагиттальные связи в левом (Fp1–F3, F3–C3, C3–P3, P3–O2) и правом (Fp2–F4, F4–C4, C4–P4, P4–O2) полушариях мозга (рис. 2, б). Дополнительно регистрировалась бета-когерентность в левом лобно-височном (Fp1–T3) и правом фронтотеменном (F4–T4) регионах.

Межполушарные связи в бета-2-диапазоне ЭЭГ практически отсутствовали. Исключение составили связи между теменными (P3–P4) и затылочными (O1–O2) точками регистрации. При аудиотестировании у больных шизофренией число связей было существенно меньше, чему лиц контрольной группы.

Межполушарные связи при психопатологии отсутствовали как в фоновой ЭЭГ, так и при восприятии слуховых образов (см. рис. 2, б). Число связей достоверно ниже между правой лобной и левой центральной, левой височной, правой височной и левой теменной ($p < 0,05$ по t -критерию Стьюдента).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Среди наиболее актуальных проблем психофизиологии, имеющих теоретическое и практическое значение, остается ее традиционное направление, заключающееся в установлении закономерностей и расшифровке механизмов элементарных психических процессов, в частности слухового и зрительного восприятия и других сенсорных функций человека [3, 4, 7, 18].

По данным литературы, снижение межполушарных связей рассматривается как основополагающий нейрофизиологический механизм при шизофрении, который, по-видимому, и является основной причиной нарушения сенсорных процессов. Полушарные корковые процессы как бы разобщены при этом заболевании, вскрывая важную особенность, отраженную в названии *schizo*, что означает «расщепление» [1, 9].

Согласно современным представлениям процессы восприятия и опознания, в частности, представляют собой первые уровни процесса мышления и являются базовыми физиологическими механизмами приобретения и обработки информации и познания окружающего мира [14]. Дефекты первой и второй сигнальных систем информации неизбежно приво-

дят к трудностям обучения, негативно отражаются на мnestических процессах, мышлении, приводят к нарушению социального функционирования.

Функциональное состояние анализаторов и уровень сенситивности центральной нервной системы (ЦНС) определяют индивидуальные особенности человека. Поэтому при оценке степени когнитивного дефекта целесообразно проводить тестирование фонового функционального состояния ЦНС и процессуальных характеристик мозговой деятельности — восприятия и интеграции информации, в частности сенсорного восприятия и опознания образов [5, 11, 12].

С позиций нейропсихологии полимодальное тестирование позволяет исследовать функции практически всех областей мозга [4, 7, 18]. Выбор теста определяется характером нейропсихологических нарушений. При исследовании слухового восприятия используются функциональные нагрузки в виде перцептивно-когнитивных задач слуховой модальности. В настоящей работе церебральная организация слуховой когнитивной деятельности исследовалась на модели восприятия и опознания слуховых образов, предъявляемых в чистом и зашумленном вариантах.

Один из ключевых механизмов нарушения интегративной деятельности мозга в процессе слуховой когнитивной деятельности у пациентов, страдающих шизофренией, связан с обеднением когнитивных связей, и в первую очередь межполушарного функционального взаимодействия. Снижение функциональной активности фронтальных структур мозга, обеспечивающей управляющие влияния на другие отделы коры, приводит, по-видимому, к нарушению процесса сопоставления воспринимаемой образной информации с информацией, хранящейся в рабочей памяти, и процесса вербализации слуховых образов.

Синхронизация суммарной электрической активности мозга в диапазонах основных альфа- и бета-ритмов в норме существенно увеличивается при любой когнитивной деятельности, требующей активации рабочей памяти и поддержания внимания [12, 20, 21, 24]. Эти данные позволяют рассматривать увеличение степени интеграции корковых зон по альфа- и бета-ритмам ЭЭГ как показатель вовлечения фронтальных, слуховых проекционных и речевых структур в реализацию когнитивных процессов в ходе восприятия и интеграции слуховой образной информации.

Согласно полученным в настоящем исследовании результатам региональное распределение функциональных связей по альфа-активности ЭЭГ характеризовалось преимущественным вовлечением структур левого полушария. Наличие левополушарной асим-

метрии фокуса функциональных связей согласуется с полученными ранее данными [18] об активации лобных и лобно-височных структур левого полушария и увеличении функционального взаимодействия между ними при решении вербальных когнитивных задач. Левополушарная активация передних ассоциативных зон в ходе когнитивной деятельности описана также в работах других исследователей [13].

Другой важной особенностью топографии функциональных связей при восприятии слуховых образов является локализация фокуса взаимодействия в лобных областях и интеграция этих зон с передними ассоциативными и височными отделами левого полушария, а также с теменными и затылочными зонами обоих полушарий.

Результаты настоящего исследования позволяют предположить, что специфическая роль фронтальных зон при восприятии невербальной информации обеспечивается их взаимодействием на основе синхронизации по альфа-ритму с другими корковыми и глубинными структурами мозга. Среди последних — структуры лимбической системы, в частности цингулярная кора, активность которой связана с произвольным поддержанием внимания, самоконтролем и оценкой результатов собственной деятельности [19, 22, 23], а также структуры, участвующие в процессах удержания информации в рабочей памяти, — гиппокамп, теменная кора, специфические корковые зоны [17].

Таким образом, результаты настоящего исследования свидетельствуют о том, что одним из компонентов организации слухокогнитивной деятельности при восприятии и интеграции невербальной информации является разветвленная нейронная сеть, которая объединяет на основе синхронизации по альфа-ритму лобные полюсные зоны коры, структуры височной доли, теменные ассоциативные зоны и специфические слуховые корковые области.

Можно предположить, что эта диффузная нейронная сеть осуществляет взаимодействие структур лимбической системы мозга, обеспечивая мотивационные составляющие когнитивной деятельности и процессы рабочей памяти с управляющими структурами лобной коры.

ВЫВОДЫ

1. Анализ когерентности альфа- и бета-ритмов ЭЭГ при решении когнитивных задач по опознанию слуховых образов позволил обнаружить, что функциональное взаимодействие корковых зон в норме существенно повышается по сравнению с фоновой ЭЭГ.
2. Установлены особенности топографии функциональных связей по альфа- и бета-ритмам ЭЭГ при восприятии слуховой информации.

Регистрируется локализация фокусов взаимодействия в лобных областях и интеграция этих фронтальных зон с передними ассоциативными и височными отделами коры левого полушария, а также с теменными и затылочными зонами обоих полушарий. При психопатологии установлено снижение числа когерентных связей, нарушение формирования фокусов когерентности.

3. Пространственно-временные особенности функциональных корковых связей позволяют рассматривать их как отражение активности диффузной нейронной сети, осуществляющей взаимодействие управляющих структур лобной коры с проекционными зонами слуховой коры и ассоциативными структурами неокортика в процессе восприятия слуховой невербальной информации. Функциональное взаимодействие корковых зон в процессе когнитивной деятельности у здоровых испытуемых достоверно выше по сравнению с психопатологией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александровский Ю.А. Пограничные психические расстройства. — М.: Медицина, 2000. [Aleksandrovskij JA. Pogranichnye psichicheskie rasstrojstva. Moscow: Medicina; 2000. (In Russ.)]
2. Гурович И.Я. Психосоциальное лечение и психосоциальная реабилитация // Психиатрия. Национальное руководство. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. — С. 469–474. [Gurovich IJ. Psihosocial'noe lechenie i psihosocial'naja reabilitacija. In: Psihiatrija. Nacional'noe rukovodstvo. Moscow: GJeOTAR-Media; 2009:469-74. (In Russ.)]
3. Иваницкий А.М. Нейрофизиологические механизмы восприятия и памяти: вызванные потенциалы // Механизмы деятельности мозга человека. — Л.: Наука, 1988. С. 151–170. [Ivanickij AM. Nejrofiziologicheskie mehanizmy vospriyatiya i pamjati: vyzvannye potencialy. In: Mehanizmy dejatel'nosti mozga cheloveka. Leningrad: Nauka; 1988:151-70. (In Russ.)]
4. Иваницкий А.М. Сознание, его критерии и возможные механизмы // Журн. высш. нервн. деят. — 1991. — № 5. — С. 870–878. [Ivanickij AM. Soznanie, ego kriterii i vozmozhnye mehanizmy. Zhurn. vyssh. nervn. dejat. 1991;(5):870-78. (In Russ.)]
5. Кропотов Ю.Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия. — Донецк: Изд. Заславский А.Ю., 2010. [Kropotov JD. Kolichestvennaja EEG, kognitivnye vyzvannye potencialy mozga cheloveka i nejroterapija. Doneck: Izd. Zaslavskij AJu.; 2010.]
6. Крыжановский Г.Н. Общая патофизиология нервной системы: Руководство. — М.: Медицина, 1997. [Kryzhanovskij GN. Obshhaja patofiziologija nervnoj sistemy. Rukovodstvo. Moscow: Medicina; 1997. (In Russ.)]

7. Смирнов В.К., Шостак В.И., Лытав С.А., Дутов В.Б. Особенности перцептивного обучения и памяти при психопатологических состояниях // Журн. высш. нервн. деят. – 1991. – № 2. – С. 237–245. [Smirnov VK, Shostak VI, Lytaev SA, Dutov VB. Osobennosti perceptivnogo obuchenija i pamjati pri psihopatologicheskikh sostojanjah. *Zhurn. vyssh. nervn. dejat.* 1991;(2):237-45. (In Russ).]
8. Стрелец В.Б., Гарах Ж.В., Новотоцкий-Власов В.Ю., Магомедов Р.А. Соотношение между мощностью и синхронизацией ритмов ЭЭГ в норме и при когнитивной патологии // Журн. высш. нервн. деят. – 2005. – № 4. – С. 496–504. [Strelec VB, Garah ZhV, Novotockij-Vlasov VJ, Magomedov RA. Sootnoshenie mezhdu moshhnost'ju i sinhronizacijej ritmov EEG v norme i pri kognitivnoj patologii. *Zhurn. vyssh. nervn. dejat.* 2005;(4):496-504. (In Russ).]
9. Циркин С.Ю. Аналитическая психопатология. – М.: Бином, 2009. [Cirkin SJ. Analiticheskaja psihopatologija. Moscow: Binom; 2009. (In Russ).]
10. Bechtereva NP. Error detection mechanisms of the brain: background and prospects. *Int J Psychophysiol.* 2004;(1–2):6-7.
11. Frith Ch, Dolan R. The role of the prefrontal cortex in higher cognitive functions. *Cognitive Brain Research.* 1996;(5):175-81. doi: 10.1016/S0926-6410(96)00054-7.
12. Klimech W, Hanslmayr S, Sauseng P, et al. Oscillatory EEG correlates of episodic trace decay. *Cerebral Cortex.* 2006;(3):280–90.
13. Konishi S, Hayashi T, Uchida I, et al. Hemispheric asymmetry in human lateral prefrontal cortex during cognitive set shifting. *PNAS.* 2002;(11):7803-8. doi: 10.1073/pnas.122644899.
14. Lytaev S. Brain Topography of Perception of Target and Non-Target Acoustic Signals. In: Theoretical and Computational Acoustics. 2003. New Jersey, London, Singapore, Beijing: World Scientific; 2004:291-7. doi: 10.1142/9789812702609_0027.
15. Lytaev S, Surovitskaya Y. The Frustration Status and Noise Proof Feature During Perception of the Auditory Images. Lecture Notes in Computer Sciences. V. 6780. New York, Orlando: Springer; 2011:186-93.
16. Lytaev SA, Belskaya KA. Integration and Disintegration of Auditory Images Perception. Lecture Notes in Computer Sciences. V. 9183. LNAI. Heidelberg, New York, Los Angeles, Dordrecht, London: Springer; 2015:470-80.
17. Miller BT, Deouel LY, Dam C, et al. Spatio-temporal dynamics of neural mechanisms underlying component operations in working memory. *Brain Res.* 2008;1206:61-75. doi: 10.1016/j.brainres.2008.01.059.
18. Newmann SD, Just MA, Carpenter PA. The Synchronization of the Human Cortical Working Memory Network. *NeuroImage.* 2002;(7):810-22. doi: 10.1006/nimg.2001.0997.
19. Posner MI, Rothbart MK, Sheese BE, et al. The anterior cingulate gyrus and the mechanism of self-regulation. *Cognitive, Affective, Behavioral Neuroscience.* 2007;(4):391-5. doi: 10.3758/CABN.7.4.391.
20. Raghavachari S, Lisman JE, Tully M, et al. Theta oscillations in human cortex during a working-memory task: evidence for local generators. *J Neurophysiology.* 2006;95(3):1630-8. doi: 10.1152/jn.00409.2005.
21. Sarnthein J, Petsche H, Rappelsberger P, et al. Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory. *PNAS.* 1998;95:7092-6. doi: 10.1073/pnas.95.12.7092.
22. Savage CR, Deckerbach T, Heckers S, et al. Prefrontal regions supporting spontaneous and directed application of verbal learning strategies: evidence from PET. *Brain.* 2001;124(1):219-31. doi: 10.1093/brain/124.1.219.
23. Segalowitz SJ, Dywan J. Individual differences and developmental change in the ERN response: implications for models of ACC function. *Psychological Research.* 2009;(6):857-70. doi: 10.1007/s00426-008-0193-z.
24. Tesche CD, Karhu J. Theta oscillation index human hippocampal activation during memory task. *PNAS.* 2000;(2):919-24. doi: 10.1073/pnas.97.2.919.

◆ Информация об авторах

Ксения Алексеевна Бельская – канд. мед. наук, ассистент, кафедра нормальной физиологии. ГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России. E-mail: belskaya.k.a@gmail.com.

Юлия Владимировна Суровицкая – ассистент, кафедра нормальной физиологии. ГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России. E-mail: iamps2008@mail.ru.

Сергей Александрович Лытав – д-р мед. наук, профессор, заведующий, кафедра нормальной физиологии. ГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России. E-mail: slytaev@spiiras.nw.ru.

◆ Information about the authors

Ksenia A. Belskaya – MD, PhD, Assistant Professor. Department of Human Physiology. St Petersburg State Pediatric Medical University Ministry of Health of the Russian Federation. E-mail: belskaya.k.a@gmail.com.

Yuliya V. Surovitskaya – Assistant Professor. Department of Human Physiology. St Petersburg State Pediatric Medical University Ministry of Health of the Russian Federation. E-mail: iamps2008@mail.ru.

Sergey A. Lytaev – MD, PhD, Dr Med Sci, Professor, Head. Department of Human Physiology. St Petersburg State Pediatric Medical University Ministry of Health of the Russian Federation. E-mail: slytaev@spiiras.nw.ru.