УДК 612.8:616.831-073.7

И.И. Макарова, Ю.П. Игнатова, К.Б. Маркова

ВЫЗВАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ МОЗГА КАК БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН, ОТРАЖАЮЩИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Кафедра физиологии с курсом теории и практики сестринского дела ФГБОУ ВО Тверской ГМУ МЗ России

В обзоре литературы рассмотрена проблема формирования вызванных потенциалов мозга на экзо- и эндогенные события в норме и при патологических состояниях.

Ключевые слова: *вызванные потенциалы, экзогенные и эндогенные стимулы, головной мозг, периферическая нервная система.*

EVOKED BRAIN POTENTIALS AS BIOELECTRICAL PHENOMENONM REFLECTING THE FUNCTIONAL STATE OF THE NERVOUS SYSTEM

I.I. Makarova, Yu.P. Ignatova, K.B. Markova

Tver State Medical University

The literature review considers the problem of evoked potentials formation in the exogenous and endogenous incidents in normal and pathological conditions.

Key words: *evoked potentials, exogenous and endogenous stimuli, brain, peripheral nervous system.*

В результате компьютеризации психофизиологических исследований в 50–60 гг. стало возможным широкое использование метода регистрации вызванных потенциалов (ВП).

ВП как ответная реакция мозговых структур на дозированный стимул различной модальности в зависимости от объекта обследования (свет, звуки и т. д.) возникают вследствие трансформации энергии раздражения в поток нервных импульсов, который подвергается сложной обработке на пути следования к коре больших полушарий. ВП позволяют определить наличие и степень повреждения разных отделов соответствующей сенсорной системы по изменениям амплитуды или латентности отдельных их компонентов [1]. Однако ВП трудно различимы, поскольку генерируются теми же структурами, что и фоновая биоэлектрическая активность мозга, являющаяся шумом для последних, т. к. значительно превосходит их по амплитуде. В связи с этим регистрация ВП осуществляется специальными техническими устройствами, которые позволяют выделять полезный сигнал из шума путем последовательного его накопления или суммации [2]. Усредненный ВП представляет собой полифазный комплекс, отдельные компоненты которого имеют определенные амплитудные соотношения и значения пиковой латентности.

Для многих ВП известна локализация генераторов каждого из компонентов. Наиболее коротколатентные (до 50 мс) волны генерируются на уровне рецепторов и стволовых ядер, среднелатентные (50–150 мс) − на уровне корковых проекций анализатора. Генерацию компонентов латентностью 200 мс и более связывают с неспецифическими системами таламуса и ствола мозга. Длиннолатентные (более 250 мс) волны − это когнитивные ВП, или так называемые связанные с событием потенциалы [3]. Параметры ВП отражают процессы приема и переработки информации. Повышение интенсивности внешнего раздражителя коррелирует с увеличением амплитуды ВП, что свидетельствует о большем количестве активных нейронов, вовлеченных в ответ [4].

Обычно зрительные ВП (ЗВП) регистрируются в ответ на светодиодную вспышку (ВЗВП) и на реверсивный шахматный паттерн (ПЗВП). ВЗВП отличаются большей вариабельностью и поэтому имеют ограниченную область применения. Регистрация ЗВП на вспышку актуальна для детей раннего возраста, поскольку они не могут продолжительное время концентрировать внимание и фиксировать взор. Этот метод также используется у индивидуумов с низкой остротой зрения [5]. ВЗВП являются ответом колбочковой системы и содержат ранние (до 150 мс) и поздние (свыше 150 мс) компоненты, негативные (N) и позитивные (P) пики [1].

ПЗВП воспроизводятся более стабильно и имеют компоненты: N75, P100, N145, P200. Источники ранних волн ВП находятся в первичной зрительной коре и в экстрастриарных областях [6]. Так, компонент N75 – результат стимуляции желтого пятна и является потенциалом 17-го поля по Бродману. Он отражает скорость проведения зрительного сигнала к центральным отделам. P100 генерируется в полях 17–18 зрительной коры и имеет самую большую амплитуду. Волна N145 отражает возбуждение 18–19-го полей коры головного мозга. P200 генерируют неспецифические системы таламуса и стволовые структуры [7]. Симметрия или асимметрия параметров компонентов ЗВП обоих глаз дает представления об устойчивости физиологического или патологического состояний зрительного анализатора [8].

А.А. Коваленко и др. [9] анализировали временные характеристики ЗВП на эмоционально отрицательные стимулы у мужчин и женщин в возрасте 18–25 лет. Результаты исследования показали, что латентность компонентов N1, P2, N2 на отрицательные стимулы была существенно короче, чем на нейтральные. Более раннее возникновение компонента N1, отражающего избирательное внимание к базовым характеристикам стимула, свидетельствует о том, что негативные стимулы сильнее привлекают внимание. Меньшая латентность N2 означает более раннее начало опознания негативных стимулов по сравнению с нейтральными. Короткий латентный период волны P2 говорит о более раннем начале категоризации негативных стимулов, чем нейтральных. По мнению авторов [9], негативные стимулы влияют на все этапы обработки информации, сильнее активируют соответствующие зоны коры и тем самым быстрее обрабатываются.

Поскольку ВП отражают процессы переработки поступающей информации, анализ их параметров позволяет оценить функциональное состояние нервной системы, в частности, в процессе обучения физическим упражнениям [10]. В исследовании В.А. Гужова [11] регистрировали ЗВП на вспышку у единоборцев разного уровня физической подготовки. Снижение латентности ЗВП по мере роста тренированности свидетельствует об уменьшении числа синаптических контактов и о более быстрой передаче и переработке стимула, а увеличение амплитуды ЗВП − о синхронизации работы нейронов и возникновении новых временных связей. Следовательно, распознавание раздражителя происходит более полно, а время ответной реакции на поступающие сигналы уменьшается, что является одним из показателей развития спортивного мастерства.

Исходя из представлений, что P100 отражает передачу информации по ретиногеникулостриарному пути, В.П. Зыков и др. [12] регистрировали ЗВП на вспышку в комплексном обследовании здоровых и больных эпилепсией детей. Полученные результаты выявили достоверное увеличение длительности компонента P100 при нарушении проведения импульсов по зрительным путям. Латентность волны P100 является прогностическим критерием тяжести течения эпилепсии в раннем возрасте.

Изучение параметров ЗВП в ответ на шахматный паттерн позволяет оценить состояние зрительного анализатора, в частности, проследить проведение нервного импульса по зрительным волокнам от сетчатки до затылочной коры головного мозга. Увеличение латентности компонентов N75, P100, N145 является признаком демиелинизации в структурах зрительного анализатора. Снижение амплитуды комплекса N75-P100 обусловлено снижением импульсного потока по волокнам и как следствие − уменьшение числа активных нейронов в ответ на зрительный стимул. Полученные результаты могут служить одним из критериев ранней диагностики рассеянного склероза [13–15]. Аналогичные данные получены при анализе параметров ЗВП на черно-белый и цветной сменяющийся шахматный паттерн у пациентов с сахарным диабетом 1-го типа [16]. Результаты исследования дают основание полагать, что увеличение латентности волн ЗВП у больных является результатом демиелинизации оптических путей, а снижение их амплитуды связано с уменьшением афферентного потока и, как следствие этого, снижением ответной реакции коры на предъявляемый стимул.

E. Boylu et al. [17] использовали метод ЗВП на реверсивный шахматный паттерн при обследовании пациентов с мигренью. Обнаружено достоверное увеличение латентности и уменьшение амплитуды компонентов N75, P100 у пациентов по сравнению с группой контроля. У людей с большой продолжительностью болезни зарегистрировано увеличение латентного периода N145. Авторы считают, что полученные результаты отражают персистирующую дисфункцию механизмов прекортикальной обработки зрительной информации, которая может иметь отношение к патогенезу мигрени.

Поскольку исследование ЗВП, как и слуховых, позволяет объективно выявить соответственно нарушения зрения или слуха, этот метод может быть использован с экспертной целью, а также у людей, контакт с которыми ограничен из-за наличия у них интеллектуально-мнестических расстройств. Кроме того, изучение ВП используется для контроля функциональной целостности структур нервной системы во время оперативного вмешательства с целью как можно более раннего распознавания их дисфункции и предотвращения необратимых изменений [18].

Наиболее широкое применение в неврологии, аудиологии и нейрохирургии нашел метод акустических стволовых (коротколатентных) ВП (АСВП). Они значительно стабильнее и менее вариабельны, чем средне- и длиннолатентные акустические ВП, и поэтому более часто применяются в клинике. Метод позволяет оценить функциональную активность различных уровней слухового анализатора, а, следовательно, способствует ранней диагностике поражений периферического его звена, слухового нерва и стволовых структур [1].

Основное внимание при регистрации АСВП уделяется первым пяти пикам, т. к. они устойчиво проявляются и воспроизводимы при повторных сериях усреднений. Принято считать, что генератором I пика является дистальный конец слухового нерва, II − проксимальный конец слухового нерва и часть кохлеарных ядер; III − верхняя олива; IV − волокна латерального лемниска; V − нижние бугры четверохолмия. Пики VI и VII непостоянны и часто не выделяются. Источник генерации VI − это медиальное коленчатое ядро, VII − дистальная часть слуховой радиации. Диагностическую ценность представляют не только абсолютные латентности пиков, но и межпиковые интервалы, при которых устраняется вариабельность, связанная с периферическими нарушениями. Интервал I–III отражает

время периферического проведения, III–V − время центрального проведения, I–V − время ответа в целом. Амплитудные величины отдельных волн менее значимы, поскольку для них характерна более высокая вариабельность и изменчивость при повторных регистрациях ответа [19–20].

Параметры АСВП зависят от ряда факторов. С возрастом отмечается увеличение латентности и межпиковых интервалов, а также снижение амплитуды волн АСВП [21]. В.П. Рожков и др. [22] в своей работе отметили, что климато-географические факторы интенсивно влияют на растущий организм и тем самым обусловливают выраженные половые различия АСВП. Обследование детей Архангельской области показало, что межпиковые интервалы I–III, III–V, I–V, отражающие время проведения импульса по слуховому нерву и структурам ствола мозга, у девочек были меньше, чем у мальчиков. Кроме того, у мальчиков с возрастом обнаружена тенденция к увеличению межпикового промежутка III–V. Также в пубертатном периоде латентности основных волн АСВП у них были больше, чем у девочек. Таким образом, отмечена большая выраженность половых различий у детей-северян, особенно в период полового созревания, в сравнении с «нормативными» данными.

В работе С.В. Шутовой и др. [23] выявлены некоторые тенденции к изменениям параметров АСВП в зависимости от фаз овариально-менструального цикла у практически здоровых девушек 19–21 года. К середине цикла латентный период компонентов АСВП уменьшается, а их амплитуда увеличивается. В последнюю фазу цикла наблюдается противоположная динамика. Полученные результаты свидетельствуют о повышении уровня активации стволовых структур головного мозга в середине цикла и о его снижении в последующие дни.

АСВП отражают активность слуховых путей, и изменения их параметров могут указывать на расстройства стволовых структур, возникающие в результате даже легкой черепно-мозговой травмы и не определяющиеся такими методами, как компьютерная или магнитно-резонансная томография. Так, результаты исследования АСВП у пациентов с сотрясением головного мозга [24] показали, что в первые сутки от момента получения травмы отмечалось увеличение межпиковых интервалов и изменение формы волн ВП. Полученные данные обусловлены диссоциацией проводящих путей преимущественно на уровне моста ствола головного мозга. Таким образом, метод коротколатентных слуховых ВП наиболее информативен в первые дни после получения травмы, позволяя своевременно диагностировать сотрясение головного мозга.

Для правильной интерпретации результатов и, соответственно, оценки состояния центрального звена слухового анализатора необходимо учитывать возможность периферической патологии, выявляемой посредством регистрации АСВП. Так, у пациентов с переломом пирамиды височной кости в острый период обнаружено повреждение звукопроводящих систем среднего и внутреннего уха, что отражается увеличением латентности компонентов АСВП и межпиковых интервалов [25]. Полученные результаты исследования свидетельствуют о нарушении длительности периферического проведения и нейросенсорной передачи на уровне дистального участка преддверно-улиткового нерва.

Причиной увеличения латентности компонентов АСВП может быть процесс демиелинизации нервных волокон, частичная гибель нервных волокон и их аксонов. Снижение амплитуды пиков и их выпадение может быть обусловлено как уменьшением числа волокон, проводящих сигналы, так и меньшим вовлечением нейронов в возбуждение, поскольку часть их повреждена, что особенно характерно для осложненной травмы шейного отдела позвоночника [26–27].

Наряду с исследованием АСВП в клинике в последнее время начинают использовать вестибулярные миогенные вызванные потенциалы (ВМВП) [28–29]. Данный метод позволяет оценить функцию нижнего вестибулярного нерва и вестибулоспинального тракта, саккуло-шейный рефлекс. В основе метода лежит способность части преддверия лабиринта воспринимать звуковые раздражители. Акустическая стимуляция может быть двух типов: щелчки и короткие тональные посылки, приводящие к более устойчивым ответам [30]. Наибольшее диагностическое значение имеют ранние компоненты, обозначаемые P13 и N23, поскольку пики этих волн регистрируются на 13 и 23 мс. Однако это не всегда соответствует полученным данным, и другие исследователи предпочитают обозначения P1, N1 [31]. Увеличение латентности пиков P13, N23 ВМВП свидетельствует о демиелинизации и поражении вестибулоспинального тракта (замедление вестибулоспинального проведения), что нередко наблюдается при рассеянном склерозе [32–33].

Современные электрофизиологические методы исследования позволяют охарактеризовать функциональное состояние центральной и периферической нервной системы, их реактивность и адаптивные возможности. В частности, соматосенсорные ВП (ССВП) отражают проведение афферентных импульсов по чувствительным волокнам вплоть до коры. При стимуляции срединного нерва компонент N9 является ответом плечевого сплетения, N13 отражает постсинаптическую активацию ядер продолговатого мозга (связан с прохождением импульса через ядра Голля и Бурдаха), N20 – первичную корковую активацию соматосенсорной зоны [34].

Поскольку параметры ССВП отражают электрические процессы в нервно-мышечных сплетениях, они могут быть использованы в качестве критерия оценки уровня подготовки спортсменов. Так, М.Б. Гурова и др. [34] посредством ССВП оценивали функциональное состояние нервно-мышечной системы, отражающее физиологические механизмы уровня тренированности единоборцев и тяжелоат-

летов разной квалификации. Исследование ССВП выявило снижение латентности интервалов N9-N13, N13-N20 у высококвалифицированных единоборцев. Полученные данные свидетельствуют о высокой скорости анализа афферентной информации (быстрое проведение импульса по чувствительным путям) по сравнению с низкоквалифицированными спортсменами. Кроме того, в отличие от тяжелоатлетов, в процессе тренировок амплитуда ВП каратистов снижается, что свидетельствует о менее синхронной и более тонкой работе нервных центров, а, соответственно, о более совершенной реакции.

С учетом источника генерации компонентов ССВП их параметры позволяют выявить нарушения целостности проводящих путей на любом уровне. Так, увеличение латентности интервала N9–N13 свидетельствует о нарушении проведения импульса от плечевого сплетения до нижних отделов ствола мозга, а N13–N20 − от нижних отделов ствола до соматосенсорной зоны коры головного мозга. Подобные сенсорные нарушения наблюдаются при полинейропатии верхних конечностей – одном из основных проявлений вибрационной болезни. При этом чем ниже тактильная и вибрационная чувствительность, тем больше латентный период соматосенсорных ответов [35–36]. Аналогичные данные получены при обследовании пожарных из отряда государственной противопожарной службы г. Ангарска [37]. При регистрации ССВП обнаружено, что наиболее часто наблюдается увеличение латентности пика N9, что характерно для патологического процесса на уровне нервных волокон плечевого сплетения. Подобное нарушение периферических нервов свойственно демиелинизирующим поражениям, и, по мнению Д.В. Русановой [37], является следствием воздействия неблагоприятных профессиональных токсических факторов.

Обследование лиц, имеющих профессиональный контакт с металлической ртутью, выявило изменения периферических нервов и афференных проводящих путей, отражающиеся в параметрах компонентов ССВП [38]. Достоверное возрастание латентности волн N13, N20, интервалов N10–N13, N13–N20 является признаком демиелинизации, что говорит о замедлении постсинаптической активации ядер продолговатого мозга, увеличении времени прохождения импульса от нижних отделов ствола до коры и активации ее соматосенсорной зоны. Полученные данные свидетельствуют о прогредиентном течении хронической ртутной интоксикации и вовлечении в патологический процесс различных отделов нервной системы.

Изучение изменений ССВП при нарастающей электрической болевой стимуляции дистальной фаланги безымянного пальца до и во время его ишемизации показало, что различные компоненты ССВП начинают формироваться при силе тока, соответствующей тактильным ощущениям [39]. По мере увеличения силы стимуляции пальца амплитуда ранних волн ССВП повышалась, а при исчезновении эпикритического болевого ощущения в условиях ишемии стимулируемого пальца отмечалось выпадение этих компонентов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что появление ранних компонентов ССВП и их амплитуда зависят от интенсивности афферентного потока по миелинизированным волокнам типа А-бета и А-дельта, которые участвуют в формировании тактильного и эпикритического болевого ощущения.

Э.Т. Афина и др. [40] использовали методику коротколатентных ССВП с целью диагностики уровня повреждения плечевого сплетения у пациентов с травматической плечевой плексопатией. Обнаружено увеличение латентности и уменьшение амплитуды компонента N9 ССВП, что свидетельствует о замедлении проведения возбуждения по афферентным путям через плечевое сплетение, обусловленном демиелинизирующим процессом.

Таким образом, регистрация ССВП является одним из методов в диагностике различных дегенеративных поражений центральной нервной системы, что позволяет определять степень повреждения нервных волокон, а, соответственно, и тактику консервативного и хирургического лечения.

Метод ССВП целесообразен, поскольку дает возможность оценивать афферентные функциональные связи периферии с центральными нервными структурами и исследовать межцентральные соотношения. П.А. Федин и др. [41] методом ССВП *n. pudendus* и *n. tibialis posterior* проводили оценку проводящих афферентных путей у пациентов с нейрогенной эректильной дисфункцией. Ими обнаружено увеличение латентности и снижение амплитуды корковых ответов, что отмечает участие нарушения проведения афферентных импульсов на стволово-подкорковом уровне в формировании эриктильной дисфункции у пациентов с различными неврологическими заболеваниями.

Когнитивные («эндогенные») вызванные потенциалы (КВП) или связанные с событием потенциалы (Event-Related Potentials) (ССП) представляют собой электрическую активность головного мозга, являющуюся непосредственным результатом мышления. Компоненты КВП связаны с первичной обработкой сенсорной информации, семантическим значением сигнала, пространственной локализацией, кодированием эмоций и ощущений, определением физических и семантических отличий, выбором и подавлением действий, контролем результатов. Например, сенсорная обработка зрительной информации осуществляется в затылочной коре через 30 мс после предъявления стимула, с последующей передачей в зону ассоциативной коры (60–70 мс) и к гиппокампу (ГП) (90–100 мс), где происходит первичная оценка информации. При выполнении задачи в течение 120–270 мс формируется рабочая память, за которую отвечает фронтальная область (выполнение задачи) и затылок (визуальное соподчинение), координирующие друг друга при визуальных задачах памяти и оценке информации. Далее

происходит обращение к семантической (400 мс) и декларативной памяти (500–600 мс) [42]. Методика выделения связанных с событием длиннолатентных КВП основана на распознавании в серии часто подаваемых сигналов более редкого значимого стимула-мишени (триггера), отличающегося определенными критериями − ситуация случайно возникающего события («odd-ball paradigm»). Эта методика имеет разные модификации, но чаще всего исследуемого просят определенным образом реагировать на значимый стимул (считать их количество или нажимать на кнопку). Латентность пиков и комплексов регистрируемых эндогенных событий в здоровом мозге не зависит от того, стимул какой модальности присутствует: визуальный, слуховой, осязательный, обонятельный, вкусовой. Время ответов при этом отражает длительность интегративных действий и обработки стимула в стратегических когнитивных зонах [42].

Наличие, величина, топография и время компонента КВП Р300 (Р3) с положительным отклонением около 300 мс в большинстве случаев используется как электрофизиологическая мера когнитивной функции в процессах принятия решения. В норме Р300 имеет широкую топографию распределения с преобладанием в фронто-центральной области, реже в теменно-центральных отделах с незначительной межполушарной асимметрией. Волна Р300 возникает как результат возбуждения постсинаптических потенциалов, генерируемых через глютаматергические сети, с играющими особенно важную роль NMDA-рецепторами. GABA-ергические и холинергические влияния также модулируют проявление Р300. GABA создает ингибирующие постсинаптические потенциалы, которые стремятся понизить амплитуду волны и увеличить время латентности. Ацетилхолин оказывает противоположный эффект, влияния же допамина и серотонина недостаточно изучены [43].

Параметры Р300 зависят от индивидуальных различий в когнитивных способностях, состояния рабочей памяти, возраста и условий предъявления стимулов, а также существенно изменяются при колебаниях внимания. Например, его амплитуда увеличивается прямо пропорционально степени неожиданности или необычности стимула. Также Р300 регистрируется, если ожидаемое событие так и не происходит. В этом случае, когда звуковой стимул выпадает из регулярной последовательности, амплитуда Р300 значительно выше у детей, чем у взрослых [44–45].

В исследованиях Р300 у лиц с высоким уровнем тревожности [46–47] показано значимое увеличение его латентного периода и большее количество ошибок при выполнении задания. Полученные результаты указывают на нарушения нейрофизиологических механизмов активного направленного внимания и затруднение использования полного объема оперативной памяти. Обследование пациентов с ранними и поздними проявлениями патологии нервной системы при нейросифилисе показало достоверное увеличение латентного периода Р300 (+ 0,39 ± 0,16). Выявленная закономерность свидетельствует о том, что чем значительнее нарушения в сфере познавательных/когнитивных процессов, тем более выражены аксональные изменения, указывающие на процессы демиелинизации структур центральной нервной системы при данной патологии [48].

Когнитивные функции ухудшаются у больных с высокими степенями каротидных стенозов и не меняются при малых [49]. В работе М.М. Танашян и О.В. Лагоды [50] изучены изменения характеристик Р300 в зависимости от сроков ангиореконструкции внутренней сонной артерии при каротидном атеросклерозе. Проводимая оперативная коррекция не только снижает риск инсульта, но и стабилизирует параметры Р300, что дает возможность предупредить прогрессирование нарушений высших психических функций. Данные M. Czerny et al. [51] также свидетельствуют о длительной (1–5 лет) стойкой стабилизации параметров когнитивных ВП после ангиохирургических вмешательств.

Кроме Р300 КВП, возможна регистрация волны N400, которая связана с общими семантическими процессами и показывает обработку, формирование и структурирование информации вообще (в том числе слуховой). Она характеризуется как негативное отклонение, топологически распространяющееся над центрально-теменными зонами скальпа.

Компонент Р600 КВП − это лингвистически-релевантный пик, который может быть извлечен на предъявление грамматических ошибок или синтаксических аномалий при регистрации зрительных (чтение) и слуховых (слушание) КВП. Положительная пиковая латентность регистрируется на 500–600 мс после стимула в основном с центр-париетальных и лобных отведений. Однако это распространение не означает, что Р600 исходит от этих частей мозга. Генератором Р600 является задняя область височной доли, зона Wernicke [42].

В приведенном нами обзоре литературы показаны возможности использования методики регистрации вызванных потенциалов мозга как в фундаментальных, так и клинических исследованиях.

Литература/References

1. *Гнездицкий В.В., Корепина О.С.* Атлас по вызванным потенциалам (практическое руководство, основанное на анализе конкретных клинических наблюдений). − Иваново: ПресСто, 2011. – 532 с.

Gnezdickij V.V., Korepina O.S. Atlas po vyzvannym potencialam (prakticheskoe rukovodstvo, osnovannoe na analize konkretnyh klinicheskih nabljudenij). − Ivanovo: PresSto, 2011. – 532 s.

2. *Григорьев Ф.Н., Кузнецов Н.А.* Обнаружение и оценивание параметров вызванных потенциалов // Информационные процессы. − 2015. − Т. 15. – № 4. − С. 389–401.

Grigor'ev F.N., Kuznecov N.A. Obnaruzhenie i ocenivanie parametrov vyzvannyh potencialov // Informacionnye processy. − 2015. − T. 15, № 4. − S. 389–401.

3. *Шарова Е.В., Ениколопова Е.В., Зайцев О.С. и др.* Приемы исследования и оценки функциональной асимметрии мозга человека в норме и патологии // Руко-

водство по функциональной межполушарной асимметрии. − М.: Научный мир, 2009. − С. 617–637.

Sharova E.V., Enikolopova E.V., Zajcev O.S. i dr. Priemy issledovanija i ocenki funkcional'noj asimmetrii mozga cheloveka v norme i patologii // Rukovodstvo po funkcional'noj mezhpolusharnoj asimmetrii. − M.: Nauchnyj mir, 2009. − S. 617–637.

4. *Бородина У.В*. Использование метода вызванных потенциалов для оценки параметров стимула // Ярославский педагогический вестник. − 2012. − Т. 3. – № 4. − С. 149–153.

Borodina U.V. Ispol'zovanie metoda vyzvannyh potencialov dlja ocenki parametrov stimula // Jaroslavskij pedagogicheskij vestnik. − 2012. − T. 3. – № 4. − S. 149–153.

5. *Кошелев Д.И., Галаутдинов М.Ф., Вахмянина А.А*. Опыт применения зрительных вызванных потенциалов на вспышку в оценке функций зрительной системы // Вестник Оренбургского государственного университета. − 2014. − № 12. − С. 181–187.

Koshelev D.I., Galautdinov M.F., Vahmjanina A.A. Opyt primenenija zritel'nyh vyzvannyh potencialov na vspyshku v ocenke funkcij zritel'noj sistemy // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. − 2014. − № 12. − S. 181–187.

6. *Whittingstall K., Stroink G., Schmidt M.* Evaluating the spatial relationship of event-related potential and functional MRI sources in the primary visual cortex valuating the spatial relationship of event-related potential and functional MRI sources in the primary visual cortex // Hum. Brain Mapp. − 2007. − V. 28. – № 2. − P. 134–142.

7. *Колкер И.А*. Зрительные вызванные потенциалы в неврологии // Международный неврологический журнал. – 2009. − Т. 5. – № 9. – С. 172–178.

Kolker I.A. Zritel'nye vyzvannye potencialy v nevrologii // Mezhdunarodnyj nevrologicheskij zhurnal. – 2009. − T. 5. – № 9. – S. 172–178.

8. *Волкова Л.П., Хаценко И.Е*. Влияние метода попеременной фотостимуляции глаз на зрительные вызванные потенциалы у детей с амблиопией // Вестник офтальмологии. − 2007. − Т. 123. – № 4. − С. 29–32.

Volkova L.P., Hacenko I.E. Vlijanie metoda poperemennoj fotostimuljacii glaz na zritel'nye vyzvannye potencialy u detej s ambliopiej // Vestnik oftal'mologii. − 2007. − T. 123. – № 4. − S. 29–32.

9. *Коваленко А.А., Черный С.В., Корякин В.А., Павленко В.Б.* Анализ вызванных ЭЭГ-потенциалов при отрицательной эмоциональной активации у человека: временные и топографические характеристики // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, серия «Биология, химия». – 2009. – Т. 22 (61). – № 1. − С. 35–41.

Kovalenko A.A., Chernyj S.V., Korjakin V.A., Pavlenko V.B. Analiz vyzvannyh JeJeG-potencialov pri otricatel'noj jemocional'noj aktivacii u cheloveka: vremennye i topograficheskie harakteristiki // Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo, serija «Biologija, himija». – 2009. – T. 22 (61). – № 1. − S. 35–41.

10. *Капилевич Л.В., Замулина Е.В.* Взаимосвязь вызванных потенциалов головного мозга с уровнем специальной физической подготовленности футболистов // Бюллетень сибирской медицины. − 2008. − Т. 7. – № 2. − С. 112–114.

Kapilevich L.V., Zamulina E.V. Vzaimosvjaz' vyzvannyh potencialov golovnogo mozga s urovnem special'noj fizicheskoj podgotovlennosti futbolistov // Bjulleten' sibirskoj mediciny. − 2008. − T. 7. – № 2. − S. 112–114.

11. *Гужов Ф.А., Ложкина М.Б., Капилевич Л.В*. Характеристика вызванных потенциалов головного мозга у спортсменов-единоборцев (на примере спортивного карате) // Вестник Томского государственного университета. − 2013. − № 372. − С. 148–151.

Guzhov F.A., Lozhkina M.B., Kapilevich L.V. Harakteristika vyzvannyh potencialov golovnogo mozga u sporstmenov-edinoborcev (na primere sportivnogo karate) // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. − 2013. − № 372. − S. 148–151.

12. *Зыков В.П., Мосин И.М., Сафронов Д.Л. и др*. Зрительно вызванные потенциалы у больных эпилепсией в раннем возрасте / Эпилепсия и пароксизмальные состояния. – 2009. − Т 1. – № 1. − С. 14–20.

Zykov V.P., Mosin I.M., Safronov D.L. i dr. Zritel'no vyzvannye potencialy u bol'nyh jepilepsiej v rannem vozraste / Jepilepsija i paroksizmal'nye sostojanija. – 2009. − T. 1. – № 1. − S. 14–20.

13. *Карпов С.М., Пажигова З.Б., Карпова Е.Н*. Вызванные зрительные потенциалы в исследовании зрительного анализатора у больных рассеянным склерозом // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. − 2014. − № 3. − С. 27–31.

Karpov S.M., Pazhigova Z.B., Karpova E.N. Vyzvannye zritel'nye potencialy v issledovanii zritel'nogo analizatora u bol'nyh rassejannym sklerozom // Nevrologija, nejropsihiatrija, psihosomatika. − 2014. − № 3. − S. 27–31.

14. *Маслова Н.Н., Андреева Е.А*. Возможности нейроофтальмологического обследования в ранней диагностике рассеянного склероза // Медицинский альманах. – 2013. − №5 (29). − С. 201–203.

Maslova N.N., Andreeva E.A. Vozmozhnosti nejrooftal'mologicheskogo obsledovanija v rannej diagnostike rassejannogo skleroza // Medicinskij al'manah. – 2013. − № 5 (29). − S. 201–203.

15. *Букин С.А., Бисага Г.Н., Коваленко А.В., Исаева Г.Е*. Комплексная (неврологическая, морфологическая, нейрофизиологическая) оценка состояния зрительного анализатора у пациентов с рассеянным склерозом // Вестник новых медицинских технологий. − 2014. − Т. 21. – № 3. − С. 45–49.

Bukin S.A., Bisaga G.N., Kovalenko A.V., Isaeva G.E. Kompleksnaja (nevrologicheskaja, morfologicheskaja, nejrofiziologicheskaja) ocenka sostojanija zritel'nogo analizatora u pacientov s rassejannym sklerozom // Vestnik novyh medicinskih tehnologij. − 2014. − T. 21. – № 3. − S. 45–49.

16. *Карпов С.М., Францева А.П., Белякова Н.А. и др.* Исследование зрительного анализатора на сменяющийся цветной шахматный паттерн у больных с сахарным диабетом 1-го типа // Фундаментальные исследования. – 2013. − № 12. − С. 486–490.

Karpov S.M., Franceva A.P., Beljakova N.A. i dr. Issledovanie zritel'nogo analizatora na smenjajushhijsja cvetnoj shahmatnyj pattern u bol'nyh s saharnym diabetom 1 tipa // Fundamental'nye issledovanija. – 2013. − № 12. − S. 486–490.

17. *Boylu E., Domac F.M., Kocer A. et al.* Visual evoked potential abnormalities in migraine patients // Electromyogr. Clin. Neurophysiol. − 2010. − V. 50. – № 6. − P. 303–308.

18. *Васяткина А.Г., Постнов В.Г*. Нейрофизиологические методы исследования в кардиохирургии (электроэнцефалография и вызванные потенциалы) // Патология кровообращения и кардиохирургия. – 2011. − № 3. − С. 81–88.

Vasjatkina A.G., Postnov V.G. Nejrofiziologicheskie metody issledovanija v kardiohirurgii (jelektrojencefalografija i vyzvannye potencialy) // Patologija krovoobrashhenija i kardiohirurgija. – 2011. − № 3. − S. 81–88.

19. *Колкер И.А*. Слуховые вызванные потенциалы в неврологии // Международный неврологический журнал. – 2006. − Т. 6. – № 10. − С. 101–107.

Kolker I.A. Sluhovye vyzvannye potencialy v nevrologii // Mezhdunarodnyj nevrologicheskij zhurnal. – 2006. − T. 6. – № 10. − S. 101–107.

20. *Куксова Н.С., Сумский Л.И.* Диагностические возможности метода стволового акустического вызванного потенциала в нейрохирургической клинике // Нейрохирургия. − 2007. − № 2. − С. 5–10.

Kuksova N.S., Sumskij L.I. Diagnosticheskie vozmozhnosti metoda stvolovogo akusticheskogo vyzvannogo potenciala v nejrohirurgicheskoj klinike // Nejrohirurgija. − 2007. − № 2. − S. 5–10.

21. *Lavoie B.A., Mehta R., Thornton A.R*. Linear and nonlinear changes in the auditory brainstem response of aging humans // Clin. Neurophysiol. – 2008. − V. 119. – № 4. − P. 772–785.

22. *Рожков В.П., Сороко С.И.* Возрастные и половые различия акустических стволовых вызванных потенциалов у школьников, проживающих на европейском севере // Физиология человека. − 2009. − Т. 35. – № 6. − С. 56–67.

Rozhkov V.P., Soroko S.I. Vozrastnye i polovye razlichija akusticheskih stvolovyh vyzvannyh potencialov u shkol'nikov, prozhivajushhih na evropejskom severe // Fiziologija cheloveka. − 2009. − T. 35. – № 6. − S. 56–67.

23. *Шутова С.В., Копченкина Ю.М., Чичук В.Н.* Особенности биоэлектрической активности головного мозга девушек в различные фазы овариально-менструального цикла // Вестник ТГУ. − 2010. − Т. 15. – Вып. 1. − С. 93–97.

Shutova S.V., Kopchenkina Ju.M., Chichuk V.N. Osobennosti biojelektricheskoj aktivnosti golovnogo mozga devushek v razlichnye fazy ovarial'no-menstrual'nogo cikla // Vestnik TGU. − 2010. − T. 15. – Vyp. 1. − S. 93–97.

24. *Кузенная С.Ч., Захарычева Х.А., Чепелев Д.А. и др.* Коротколатентные слуховые вызванные потенциалы в диагностике сотрясения головного мозга // Дальневосточный медицинский журнал. − 2008. − № 1. − С. 88–90.

Kuzennaja S.Ch., Zaharycheva H.A., Chepelev D.A. i dr. Korotkolatentnye sluhovye vyzvannye potencialy v diagnostike sotrjasenija golovnogo mozga // Dal'nevostochnyj medicinskij zhurnal. − 2008. − № 1. − S. 88–90.

25. *Скобская О.Е., Третьякова А.И*. Дифференциально-диагностическое значение метода стволовых акустических вызванных потенциалов при переломе пирамиды височной кости в остром периоде черепно-мозговой травмы // Украинский нейрохирургический журнал. – 2008. − № 4. − С. 21–25.

Skobskaja O.E., Tret'jakova A.I. Differencial'no-diagnosticheskoe znachenie metoda stvolovyh akusticheskih vyzvannyh potencialov pri perelome piramidy visochnoj kosti v ostrom periode cherepno-mozgovoj travmy // Ukrainskij nejrohirurgicheskij zhurnal. – 2008. − № 4. − S. 21–25.

26. *Петровская А.С., Кривошапкин А.Л., Афтанас Л.И., Кривошапкина А.Л.* Электрофизиологические исследования и тактика лечения пациентов с невралгией тройничного нерва // Бюллетень СО РАМН. – 2013. − Т. 33. – № 3. − С. 5–11.

Petrovskaja A.S., Krivoshapkin A.L., Aftanas L.I., Krivoshapkina A.L. Jelektrofiziologicheskie issledovanija i taktika lechenija pacientov s nevralgiej trojnichnogo nerva // Bjulleten' SO RAMN. – 2013. − T. 33. – № 3. − S. 5–11.

27. *Вставская Т.Г., Ларькин В.И., Резник Л.Б., Приз И.Л.* Вызванные стволовые потенциалы у пациентов с травмой позвоночника на шейном уровне // Хирургия позвоночника. – 2011. − № 3. − С. 60–65.

Vstavskaja T.G., Lar'kin V.I., Reznik L.B., Priz I.L. Vyzvannye stvolovye potencialy u pacientov s travmoj pozvonochnika na shejnom urovne // Hirurgija pozvonochnika. – 2011. − № 3. − S. 60–65.

28. *Pollac L., Kushnir M., Stryjer R*. Diagnostic value of vestibular evoked myogenic potentials in cerebellar and lower brainstem stroke // Neurophysiol. Clin. – 2006. − V. 36. – № 4. − P. 227–233.

29. *Papathanasiou E.S., Papacostas S.S*. Вестибулярные вызванные миогенные потенциалы // Вестник РГМУ. − 2012. − № 3. − С. 34–37.

30. *Лихачев С.А., Тарасевич Н.М.* Вызванные вестибулярные миогенные потенциалы: анатомо-физиологические аспекты реализации и их клиническое применение // Журн. неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. − 2011. − № 2. − С. 84–89.

Lihachev S.A., Tarasevich N.M. Vyzvannye vestibuljarnye miogennye potencialy: anatomo-fiziologicheskie aspekty realizacii i ih klinicheskoe primenenie // Zhurn. nevrologii i psihiatrii im. S.S. Korsakova. − 2011. − № 2. − S. 84–89.

31. *Castelein S., Deggouj N., Wuyrs F., Gersdorff M.* Vestibular evoked myogenic potentials // B-ENT. – 2008. − V. 4. – № 8. − P. 39–43.

32. Корепина О.С., Алексеева Н.С., Гнездицкий В.В. Вестибулярные миогенные и слуховые стволовые вызванные потенциалы в неврологической практике // Нервно-мышечные болезни. − 2012. − № 1. − С. 33–41.

Korepina O.S., Alekseeva N.S., Gnezdickij V.V. Vestibuljarnye miogennye i sluhovye stvolovye vyzvannye potencialy v nevrologicheskoj praktike // Nervno-myshechnye bolezni. − 2012. − № 1. − S. 33–41.

33. *Кузнецова Е.А., Якупов Э.З*. Вестибулоспинальный рефлекс при вестибулоатактическом синдроме различного генеза // Журн. неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. − 2010. − № 7. − С. 31–34.

Kuznecova E.A., Jakupov Je.Z. Vestibulospinal'nyj refleks pri vestibuloatakticheskom sindrome razlichnogo geneza // Zhurn. nevrologii i psihiatrii im. S.S. Korsakova. − 2010. − № 7. − S. 31–34.

34. *Гурова М.Б., Капилевич Л.В., Матросова Т.С.* Структура соматосенсорных вызванных потенциалов у спортсменов-тяжелоатлетов и единоборцев разной квалификации // Вестник Томского государственного университета. − 2011. − № 345. − С. 171–172.

Gurova M.B., Kapilevich L.V., Matrosova T.S. Struktura somatosensornyh vyzvannyh potencialov u sportsmenov-tjazheloatletov i edinoborcev raznoj kvalifikacii // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. − 2011. − № 345. − S. 171–172.

35. *Борзунова Ю.М*. Вызванные потенциалы головного мозга в оценке сенсорных и когнитивных функций у горнорабочих виброопасных профессий // Вестник Уральской МАН. – 2012. − № 1. − С. 61–62.

Borzunova Ju.M. Vyzvannye potencialy golovnogo mozga v ocenke sensornyh i kognitivnyh funkcij u gornorabochih vibroopasnyh professij // Vestnik Ural'skoj MAN. – 2012. − № 1. − S. 61–62.

36. *Катаманова Е.В., Картапольцева Н.В., Лахман О.Л. и др*. Диагностика степени выраженности вибрационной болезни с помощью вызванных потенциалов мозга // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. − Т. 12. – №1 (7). − С. 1829–1833.

Katamanova E.V., Kartapol'ceva N.V., Lahman O.L. i dr. Diagnostika stepeni vyrazhennosti vibracionnoj bolezni s pomoshh'ju vyzvannyh potencialov mozga // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2010. − T. 12. – №1 (7). − S. 1829–1833.

37. *Русанова Д.В*. Функциональное состояние нервной системы у пожарных по данным регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов и электронейромиографического обследования // Медицина труда и промышленная экология. − 2008. − № 1. − С. 37–43.

Rusanova D.V. Funkcional'noe sostojanie nervnoj sistemy u pozharnyh po dannym registracii somatosensor-

nyh vyzvannyh potencialov i jelektronejromiograficheskogo obsledovanija // Medicina truda i promyshlennaja jekologija. − 2008. − № 1. − S. 37–43.

38. *Русанова Д.В., Лахман О.Л.* Динамика изменений электронейромиографических показателей и данных соматосенсорных вызванных потенциалов при воздействии металлической ртути // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. − 2011. − № 3. − С. 42–47.

Rusanova D.V., Lahman O.L. Dinamika izmenenij jelektronejromiograficheskih pokazatelej i dannyh somatosensornyh vyzvannyh potencialov pri vozdejstvii metallicheskoj rtuti // Bjulleten' VSNC SO RAMN. − 2011. − № 3. − S. 42–47.

39. *Сыровегин А.В., Кукушкин М.Л., Гнездилов А.В. и др.* Влияние функциональной ишемии на соматосенсорные вызванные потенциалы и кожно-мышечные рефлексы у человека, вызванные болевой электрической стимуляцией безымянного пальца // Российский журнал боли. − 2013. − №4. − С. 12–15.

Syrovegin A.V., Kukushkin M.L., Gnezdilov A.V. i dr. Vlijanie funkcional'noj ishemii na somatosensornye vyzvannye potencialy i kozhno-myshechnye refleksy u cheloveka, vyzvannye bolevoj jelektricheskoj stimuljaciej bezymjannogo pal'ca // Rossijskij zhurnal boli. − 2013. − № 4. − S. 12–15.

40. *Афина Э.Т., Надеждина М.В.* Соматосенсорные вызванные потенциалы в дифференциальной диагностике уровня повреждения плечевого сплетения // Уральский медицинский журнал. – 2014. − №3. − С. 9–14.

Afina Je.T., Nadezhdina M.V. Somatosensornye vyzvannye potencialy v differencial'noj diagnostike urovnja povrezhdenija plechevogo spletenija // Ural'skij medicinskij zhurnal. – 2014. − № 3. − S. 9–14.

41. *Федин П.А., Кошурникова Е.Е., Павлов Э.В., Шварц П.Г.* Роль соматосенсорных вызванных потенциалов в объяснении патофизиологических механизмов формирования нейрогенной эректильной дисфункции // Альманах клинической медицины. – 2006. − № 13. − С. 85–87.

Fedin P.A., Koshurnikova E.E., Pavlov Je.V., Shvarc P.G. Rol' somatosensornyh vyzvannyh potencialov v ob'jasnenii patofiziologicheskih mehanizmov formirovanija nejrogennoj jerektil'noj disfunkcii // Al'manah klinicheskoj mediciny. – 2006. − №13. − S. 85–87.

42. *Евтушенко С.К., Морозова Т.М., Омельяненко А.А. и др.* Нейрофизиологическая диагностика и лечение когнитивных нарушений при заболеваниях нервной системы у детей: Методические рекомендации. – Донецк: Слово, 2010. – 18 с.

Evtushenko S.K., Morozova T.M., Omel'janenko A.A. i dr. Nejrofiziologicheskaja diagnostika i lechenie kognitivnyh narushenij pri zabolevanijah nervnoj sistemy u detej: Metodicheskie rekomendacii. – Doneck: Slovo, 2010. – 18 s.

43. *Кропотов Ю.Д.* Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия. – Донецк, 2010. – 512 с.

Kropotov Ju.D. Kolichestvennaja JeJeG, kognitivnye vyzvannye potencialy mozga cheloveka i nejroterapija. – Doneck, 2010. – 512 s.

44. *Костандов Э.А.* Психофизиология сознания и бессознательного. – Питер, 2004. – 167 с.

Kostandov Je.A. Psihofiziologija soznanija i bessoznatel'nogo. – Piter, 2004. – 167 s.

45. *Портнова Г.В., Мартынова О.В., Иваницкий Г.А.* Возрастные различия слуховых вызванных потенциалов при восприятии последовательных и пространственных компонентов звуковой информации // Физиология человека. – 2014. – Т. 40. – № 1. – С. 26–35.

Portnova G.V., Martynova O.V., Ivanickij G.A. Vozrastnye razlichija sluhovyh vyzvannyh potencialov pri vosprijatii posledovatel'nyh i prostranstvennyh komponentov zvukovoj informacii // Fiziologija cheloveka. – 2014. – T. 40. – № 1. – S. 26–35.

46. *Кожевникова И.С., Джос Ю.С.* Когнитивные вызванные потенциалы Р300 у детей с высоким уровнем тревожности // Экология человека. – 2011. – № 5. – С. 49–54.

Kozhevnikova I.S., Dzhos Ju.S. Kognitivnye vyzvannye potencialy P300 u detej s vysokim urovnem trevozhnosti // Jekologija cheloveka. – 2011. – № 5. – S. 49–54.

47. *Гордеев С.А.* Применение метода эндогенных связанных с событиями потенциалов мозга Р300 для исследования когнитивных функций в норме и клинической практике // Физиология человека. – 2007. – Т. 33. – № 2. – С. 121–133.

Gordeev S.A. Primenenie metoda jendogennyh svjazannyh s sobytijami potencialov mozga P300 dlja issledovanija kognitivnyh funkcij v norme i kinicheskoj praktike // Fiziologija cheloveka. – 2007. – T. 33. – № 2. – S. 121–133.

48. *Карпов С.М., Казиев А.Х., Гочиява М.С., Кубрин Е.А.* Показатели когнитивных нарушений с использованием ВП Р300 при нейросифилисе // Кубанский научный медицинский вестник. – 2010. – № 7. – С. 82–85.

Karpov S.M., Kaziev A.H., Gochijava M.S., Kubrin E.A. Pokazateli kognitivnyh narushenij s ispol'zovaniem VP R300 pri nejrosifilise // Kubanskij nauchnyj medicinskij vestnik. – 2010. – № 7. – S. 82–85.

49. *Евдокимова Т. П., Лобова Н.М., Гераскина Л.А. и др.* Когнитивные функции в отдаленные сроки реконструктивных операций на каротидных артериях // Неврология, нейропсихиатрия и психосоматика. – 2011. – № 3. – С. 38–46.

Evdokimova T.P., Lobova N.M., Geraskina L.A. i dr. Kognitivnye funkcii v otdalennye sroki rekonstruktivnyh operacij na karotidnyh arterijah // Nevrologija, nejropsihiatrija i psihosomatika. – 2011. – № 3. – S. 38–46.

50. *Танашян М.М., Лагода О.В.* Каротидный атеросклероз и цереброваскулярные заболевания // Consilium Medicum. – 2014. – Т. 16. – № 9. – С. 82–85.

Tanashjan M.M., Lagoda O.V. Karotidnyj ateroskleroz i cerebrovaskuljarnye zabolevanija // Consilium Medicum. – 2014. – T. 16. – № 9. – S. 82–85.

51. *Czerny M., Schuch P., Sodeck G. et al.* Sustained cognitive benefit 5 years after carotid endarterectomy // J. Vasc. Surg. – 2010. – V. 51. – № 5. – P. 1139–1144.

Макарова Ирина Илларионовна (контактное лицо) – д.м.н., профессор, заведующая кафедрой физиологии с курсом теории и практики сестринского дела ФГБОУ ВО Тверской государственный медицинский университет Минздрава России. 170100, Тверь, ул. Советская, д. 4. Тел. 8-910-539-92-30; e-mail: iim777@yandex.ru.