

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского

Серия «Биология, химия». Том 23 (62). 2010. № 3. С. 3-14.

УДК 612.822.3.08

ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ И ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ У ДЕТЕЙ

Алиева Т.А., Павленко В.Б.

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина
E-mail: chadess@mail.ru*

В статье суммированы литературные данные об изменениях электрической активности головного мозга у детей. Представленные факты свидетельствуют о том, что с возрастом паттерн электроэнцефалограммы и пространственно-временные характеристики вызванных потенциалов претерпевают закономерные изменения.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма, вызванные потенциалы, дети.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день наиболее распространенным методом неинвазивного исследования функциональной активности головного мозга является анализ пространственно-временной организации ритмической электрической активности, или электроэнцефалограммы (ЭЭГ) [1].

Пристальное внимание в этой области привлекает онтогенетическое изменение электрической активности человека, причем исследования проводились как на взрослых, так и на детях [2-5]. Полученные данные свидетельствовали о весомых отличиях между ЭЭГ взрослого и ребенка. Соответственно, следующим шагом по изучению изменений ЭЭГ в онтогенезе стал поиск первопричин этих изменений и влияние на созревание ритмики головного мозга различных факторов. В последствие, внимание стало уделяться изучению у детей основных характеристик биопотенциалов в ответ на события, а также особенностям функциональных поддиапазонов основных ритмов ЭЭГ. В результате этого было накоплено большое количество данных, которые часто разрозненны и противоречат друг другу.

Исходя из вышеизложенного, целью данной работы явились систематизация и обобщение результатов научных исследований возрастной динамики фоновой электрической активности и вызванных потенциалов у детей.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РИТМОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ

Большое значение в изучении функционирования головного мозга играет электроэнцефалография – метод исследования, основанный на регистрации его электрических потенциалов [6]. Одной из широко распространенных версий о генезе ЭЭГ является отражение в ней медленных колебаний мембранного потенциала нервных и глиальных клеток коры, вызываемых действием нейромедиаторов и нейромодуляторов. Относительная синхронность волн ЭЭГ, отводимых от далеко расположенных других участков коры, обеспечивается за счет существования между нейронами многочисленных кортико-кортикальных горизонтальных связей [7, 8]. Соответственно этому существует связь между уровнем активации коры и частотно-амплитудными параметрами электрической активности головного мозга. В общей картине ЭЭГ принято различать ритмические колебания определенной частоты и амплитуды, которые носят название ритмов. Наиболее классический вариант выделения ритмов основывается на изменении общего паттерна ЭЭГ при смене таких функциональных состояний, как бодрствование и сон. При таком переходе оказываются хорошо различимыми такие виды активности, как альфа-, бета-, тета- и дельта-ритмы.

Дельта-ритм состоит из высокоамплитудных (амплитуда 20-200 мкВ) колебаний с частотой 0,5-4 Гц [8]. Дельта-ритм доминирует при поражении кортикальных отделов мозга или в ЭЭГ человека, находящегося в фазе глубокого сна. Считается, что генерирующая дельта-ритм система является филогенетически наиболее древней и участвует в обеспечении витальных и биологических потребностей [9].

Тета-ритм складывается из ритмических медленных волн с частотой 4-7 Гц и амплитудой 20-100 мкВ. Усиление тета-активности наблюдается при дремоте, а также при глубокой релаксации и медитативных состояниях. Согласно современным представлениям, тета-ритм, регистрируемый в процессе выполнения когнитивной задачи, также отражает процесс запоминания и извлечения следов памяти [6]. Г. Г. Князев [9] при описании этого ритма отмечает его связь с регуляцией поведения и сопоставлением мотиваций с накопленным в течение жизни эмоциональным опытом. Тета-активность – неотъемлемая и важная часть ЭЭГ человека, которая характерна также для всех млекопитающих [9-11].

Альфа-ритм состоит из волн с частотой 8-14 Гц и амплитудой до 100 мкВ, и наиболее ярко выражен в ЭЭГ взрослого человека, находящегося в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами и длительной монотонной работы [6]. Этот ритм является отражением тормозных процессов, которые способствуют протеканию когнитивных функций человека, в том числе активации внимания и памяти. В отличие от тета-ритма, альфа-активность связывают не с контекстуальной (эмоционально-чувственной), а с семантической памятью, хранящей абстрактные знания [9, 12].

В современной литературе устоявшейся является точка зрения, согласно которой альфа-ритм имеет сложную структуру и состоит из нескольких компонентов. Однако единого мнения о степени неоднородности альфа-диапазона не существует, что вызвано применением разных подходов при изучении отдельных характеристик и реактивности этого диапазона ЭЭГ. Один из подходов по выделению границ

диапазонов этого ритма основывается на частоте индивидуального пика альфа-активности у каждого человека [12, 13]. Другой подход, с более четкой классификацией и потому более распространенный, опирается на топографические особенности, специфику реактивности альфа-ритма и выделение отдельных частотных полос в пределах этой активности, разделяющих ее на определенное количество поддиапазонов, одинаковых для всех людей [4, 14-16]. Чаще всего разделение происходит на низко-, средне- и высокочастотные составляющие (компоненты), каждый из которых имеет свои функциональные и топографические особенности, и формируется в определенный этап онтогенеза [17]. Три поддиапазона включают в себя альфа1-ритм с частотой 7,7-8,9 Гц; и альфа2- и альфа3-ритмы с частотами 9,3-10,5 Гц и 10,9-12,5 Гц соответственно. При этом последний нередко определяется как низкочастотный бета-ритм, однако в большинстве современных исследований эту активность в соответствии с характером ее реактивности, пространственной организации, связи с определенными когнитивными процессами расценивают как высокочастотный альфа-ритм [4].

Альфа-активность пропадает при повышении функциональной активности мозга, причем на ЭЭГ при этом появляются высокочастотные нерегулярные волны. Такая реакция носит название «реакции десинхронизации» [18].

Бета-ритмом называют быстроволновую активность с частотой 14-30 Гц и амплитудой 5-30 мкВ. Этот ритм, связанный с сознательной концентрацией внимания на каком-либо внешнем объекте, характерен для активного бодрствующего состояния. Бета-ритм наблюдается также при умственном напряжении во время решения задачи или формулирования мысли [8]. В настоящее время в его диапазоне выделяют два частотных компонента: бета1- (14-25 Гц) и бета2-ритм (25-30 Гц), или низко- и высокочастотный.

Электрическую активность головного мозга с частотой 30-40 Гц и выше и амплитудой около 5-7 мкВ называют «высокочастотным бета-ритмом» или «гамма-ритмом». Амплитуда этих колебаний не превышает 15 мкВ и обратнопропорциональна частоте. Наблюдается гамма-ритм при решении задач, требующих максимального сосредоточения внимания [6].

Амплитуда, топография и соотношения описанных выше ритмических потенциалов являются важным диагностическим признаком и показателем функционального состояния различных областей коры при осуществлении психической деятельности. Однако, несмотря на значительное развитие методов анализа ЭЭГ, до настоящего времени она является достаточно сложной для точной и однозначной интерпретации. Отчасти это объясняется тем, что ритмы ЭЭГ в чистом виде встречаются достаточно редко – когда испытуемый вовлечен в определенный вид деятельности, его ЭЭГ представляет постоянно меняющуюся по амплитуде и частоте кривую.

2. СТАНОВЛЕНИЕ РИТМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ОНТОГЕНЕЗЕ

Возрастные изменения биоэлектрической активности мозга охватывают значительный период онтогенеза от рождения до юношеского возраста. К 15-18

годам у каждого человека складывается индивидуально-специфический паттерн ЭЭГ, который сохраняется на протяжении всей жизни; и только в пожилом возрасте в нем могут появляться некоторые изменения [19]. О зрелости биоэлектрической активности головного мозга можно судить по ряду признаков, среди которых необходимо отметить особенности частотно-амплитудного спектра ЭЭГ, наличие устойчивой ритмической активности, среднюю частоту доминирующих волн и особенности пространственно-временной организации биопотенциалов мозга.

В ряде работ были представлены данные, свидетельствующие о значительных и постепенных преобразованиях мозговых систем, обеспечивающих развитие когнитивных процессов у детей. Т. Гассер отмечает, что созревание затылочных областей коры происходит раньше, чем лобных [20]. В период младшего школьного возраста качественные изменения происходят во внутрисистемных взаимоотношениях в передне- и заднеассоциативных областях коры, и обусловлены как нарастанием внутрикорковых связей, так и созревания нейронного аппарата этих корковых зон [21-24]. Согласно Т. А. Цехмистренко, в возрасте 8-12 лет толщина коры больших полушарий не изменяется по сравнению с более ранними возрастными периодами, однако при этом наблюдается созревание структурных элементов коры, увеличение удельных объемов волокон и количества синапсов, интенсивное развитие внутри- и межкорковых связей [25]. Ю. В. Кулаковский и Н. В. Дубровинская в своих исследованиях отмечают формирование в период 7-10 лет присущих взрослым высоких интегративных возможностей лобных долей [26], которое происходит за счет морфофункционального созревания самих фронтальных областей и их нисходящих связей с другими структурами мозга [21]. Несомненно, такие структурные преобразования отражаются в электрической активности головного мозга в виде созревания общего паттерна ЭЭГ и увеличения синхронизации ритмов. Несмотря на большую вариативность, в этих процессах существует определенная общность. Она проявляется в виде постепенного ускорения корковой ритмики, замещения медленноволновых тета- и дельта-ритмов регулярной альфа-активностью с фокусом в теменно-затылочных отделах коры больших полушарий [3-4, 27-31]. Для оценки степени зрелости структуры ритмов ЭЭГ по мере взросления ребенка используют показатели сформированности альфа-ритма, рассматривая его становление как функциональный механизм интеграции нервных центров в единую систему [27, 28, 30].

Первые признаки ритмической упорядоченности появляются, начиная с третьего месяца жизни. Тенденция к нарастанию доминирующей частоты сохраняется и на дальнейших стадиях развития. Если для новорожденных характерна активность с частотой 1-6 Гц, то к 3 годам это уже ритм с частотой 7-8 Гц, к 6 годам – 9-10 Гц и т.д. [32]. В качестве возрастной нормы зрелой ЭЭГ для детей 7-8 лет, свидетельствующей о зрелости регуляторных систем, авторы выделяют доминирование регулярного альфа-ритма частотой 8–10 Гц и отсутствием пароксизмальной активности [26, 27].

В возрасте 9-10 лет наряду с близостью к зрелому типу характеристик ЭЭГ достаточно сформированными оказываются нейрофизиологические механизмы, обеспечивающие повышение уровня корковой активации [14]. Однако в целом до

десятилетнего возраста индивидуальный разброс в степени созревания модулирующих систем мозга достаточно велик, и у части детей выявляется проявляющаяся в ЭЭГ функциональная незрелость, которая оказывает влияние на развитие высших психических функций [33-35]. Соответственно, отсутствие четкого доминирования альфа-ритма и наличие медленных волн в меньшей степени присущи детям 11-12 лет, чем детям 9-10 лет.

По распространенной в литературе точке зрения, ЭЭГ мозга, характерная для взрослого человека, устанавливается к 13 годам. Однако исследования свидетельствуют о том, что ЭЭГ подростков 13-16 лет характеризуются еще целым рядом возрастных особенностей: несмотря на то, что у большинства подростков уже преобладает альфа-ритм, в 25% случаев этот вид активности не является доминирующим даже в затылочной области коры [3]. Согласно исследованиям, проведенным Е.Г. Ларькиной и А.В. Киренской, у подростков 15-17 лет фоновая ЭЭГ отличается от таковой у взрослых прежде всего повышенным значением спектральной мощности в тета- и сниженным – в альфа1- и альфа2-диапазонах [36]. Д.А. Фарбер с соавт. также отмечает, что альфа3-ритм яркую выраженность в спектре проявляет только к 16-17 годам, в то время как альфа1 доминирует уже в возрасте 4-8 лет, а альфа2 – после 10 лет. Это объясняется тем, что ритмические составляющие этого диапазона генерируются различными нейронными системами, созревающими неодинаково в онтогенезе [12, 32]. Кроме смены доминирующего поддиапазона альфа-активности, с возрастом наблюдается изменение их характеристик. Так, для детей 7-11 лет описан возрастной сдвиг среднего значения центральной частоты альфа2-диапазона, направленный в сторону ее увеличения [3, 4, 20, 36].

Существуют данные, что у детей 9-13 лет высокая амплитуда тета-диапазона и низкая амплитуда альфа2-диапазона коррелирует с делинквентным поведением, гиперактивностью и нарушением внимания [37]. При этом Л.А. Венгер и А.А. Ибатуллина в своих исследованиях установили, что развивающее обучение приводит не только к существенному повышению уровня умственного развития детей, но и к изменению ряда параметров электрической активности мозга, свидетельствующему о его ускоренном созревании и значительном совершенствовании функций. [38]. Таким образом, в ЭЭГ проявляются четкие возрастные различия, свидетельствующие о степени зрелости мозга. Вместе с тем, на формирование ЭЭГ может влиять множество факторов, как неврологического, так и социального характера.

3. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

Вызванные потенциалы (ВП) — биоэлектрические колебания, возникающие в нервных структурах в ответ на внешнее раздражение и находящиеся в строго определенной временной связи с началом его действия. ВП представляют собой широкий класс электрофизиологических феноменов, которые специальными методами выделяются из фоновой ЭЭГ [6]. В настоящее время для выделения ВП, из-за их низкой амплитуды по отношению к спонтанной активности ЭЭГ, используются многократная стимуляция, синхронное накопление и фильтрация [39].

Исследование ВП основано на регистрации электрических ответов мозга как на экзогенные события, такие как подача внешнего стимула – зрительного, слухового, тактильного, так и на эндогенные события, связанные с ожиданием, опознанием, принятием решения и инициацией двигательного ответа. В зависимости от модальности предъявляемых стимулов различают следующие виды ВП: зрительные, слуховые, соматосенсорные, тактильные, обонятельные и т. д. Некоторые ВП, выделяемые достаточно легко, прочно вошли в клиническую практику – зрительные на вспышку света, соматосенсорные на электрическую стимуляцию нерва, слуховые ВП. Остальные виды находятся в стадии научных исследований и не нашли пока широкого применения.

Любой ВП является сложным комплексом колебаний, среди составляющих которого можно выделить ряд ранних и поздних компонентов. При их рассмотрении обращают внимание, прежде всего, на следующие амплитудно-временные характеристики – время задержки ответа, латентный период (ЛП), длительность и амплитуду, пространственное распределение амплитуд ВП по поверхности головы, связь с тем или иным событием или поведенческой задачей [39, 40]. Соответственно полярности выделяют позитивные (P) и негативные (N), которые нумеруются в порядке их возникновения. В качестве другого варианта обозначения компонента выступает его приблизительный ЛП в миллисекундах, что, однако, не всегда удобно, так как точную латентность установить достаточно сложно, к тому же она может варьировать для функционально одних и тех же компонентов. Однако в целом, в зависимости от латентности, компоненты ВП можно разделить на такие группы, как раннелатентные (P1 – 50–120, N1 – 120–160 мс), среднелатентные (P2 – 160–220, N2 – 220–300 мс) и позднелатентные, возникающие, соответственно, после 300 мс с момента предъявления стимула [41, 42].

В литературе также широко распространен термин, являющийся калькой с английского *event-related potential* – связанный с событием потенциал. Одни авторы (преимущественно зарубежные) под понятием «связанный с событием потенциал» подразумевают общие реакции мозга, связанные с какими-либо событиями, частным случаем которых является ВП на подачу стимула. Другие авторы все потенциалы, выделяемые методом когерентного накопления, называют вызванными потенциалами и разделяют их на экзогенные, возникающие при подаче раздражителя, и эндогенные или связанные с событиями [19, 39, 43].

4. ФОРМИРОВАНИЕ РАННЕ- И СРЕДНЕЛАТЕНТНЫХ ВП В ОНТОГЕНЕЗЕ

М. Тейлор отмечает, что ВП являются одновременно функцией от возраста испытуемого и от когнитивных процессов, которые необходимы для решения возникшей задачи [44]. Изучение сенсорно-специфических реакций мозга на стимулы разных модальностей показывает, что локальные ответы мозга в проекционных зонах коры регистрируются с момента рождения ребенка, однако их конфигурация и параметры говорят о разной степени зрелости и несоответствии таковым у взрослого. Например, ВП, регистрируемые в зоне морфологически более зрелого к моменту рождения соматосенсорного анализатора, содержат такие же компоненты, как и у взрослых, и их параметры достигают зрелости уже в первые

недели жизни. В то же время, значительно менее зрелы у новорожденных и младенцев зрительные и слуховые ВП [19, 32]. Несмотря на то, что ВП детей отличаются большой меж- и интрасубъективной вариабельностью, существуют определенные закономерности в формировании электрических ответов мозга. Так, например, наиболее значительные изменения конфигурации и параметров зрительных ВП происходят в первые два года жизни. За этот период ВП на вспышку преобразуются из позитивно-негативного колебания в многокомпонентную реакцию, которая в общих чертах сохраняется в дальнейшем онтогенезе. Окончательная стабилизация компонентного состава таких ВП происходит к 5-6 годам, но его оформление продолжается вплоть до 11-12 лет.

У новорожденных можно легко зарегистрировать суммарный вызванный ответ на звук, причем слуховые ВП имеют, так же как и у взрослого человека, определенную последовательность позитивно-негативных комплексов. У детей 4-6 лет слуховые ВП, по сравнению с таковыми у младенцев, имеют меньший ЛП и включают в себя 1-3 позитивно-негативных комплекса, причем позднелатентные компоненты более выражены по сравнению с ранне- и среднелатентными [45].

Что касается онтогенетических изменений компонентов ВП у более старших детей, то на этот счет имеются неоднозначные данные. Как отмечает С. Джонстоун, амплитуды и ЛП некоторых компонентов у детей и подростков оставались неизменными и не подвергались возрастным изменениям. Так, к примеру, не изменялась амплитуда N1 и ЛП компонентов P2 и N2, регистрируемых в ответ на стандартные стимулы. При регистрации ВП в ответ на целевые стимулы неизменной для испытуемых 8-17 лет оставался ЛП компонента P2 [5].

Другие авторы сходятся на мнении, что возраст вносит существенный вклад во временные характеристики и размер компонентов N1, P2 и N2. Считается, что эти компоненты отражают преимущественно функции сенсорных систем, и изменения потенциалов являются отражением созревания соответствующих систем мозга, также как P3 отражает когнитивные изменения по мере взросления детей [46]. В.В. Гнездицкий как для детей, так и для взрослых испытуемых отмечает четкую корреляцию возраста и параметров N2, и слабую – для потенциалов N1 и P2 [39]. Это согласуется с другими данными, согласно которым ЛП P2- и N2-колебаний на протяжении детства стремительно уменьшаются до своего минимума в 16 лет, в то время как у взрослых они напротив, постепенно увеличиваются с возрастом [47-49]. В противоположность этому, ЛП компонентов, регистрируемых до временного порога в 150 мс, и в частности компонента N1, очень слабо или вовсе не меняется с возрастом [49-51]. С. Стюарт [52] описывает линейное уменьшение ЛП компонента N1 с возрастом у испытуемых 8-17 лет, а в работе М. Тейлора с соавт. отмечается укорочение ЛП компонента N1 при совпадении целевых стимулов у детей 9-12 лет, что свидетельствует о развитии процессов облегчения синаптической передачи в этом возрасте [53].

Не существует единого мнения относительно динамики амплитудных показателей ранне- и среднелатентных компонентов ВП у детей. Так, Дж. Полиш [46] описывает тенденцию постепенного увеличения амплитуды компонентов N1, P2 и N2 с возрастом, а Д. Джонстоун [5] говорит об уменьшении амплитуды только N2 компонента. В других работах идет речь об уменьшении у детей амплитуды

компонентов N1 и N2, и линейном увеличении таковой компонента P2 [49, 52]. Некоторые исследователи приходят к выводу об увеличении амплитуды N1 и уменьшении ее у компонентов P2 и N2 [49, 51]. Такая противоречивость мнений объясняется тем, что в целом в литературе исследованию возрастной динамики характеристик ранне- и среднелатентных компонентов уделяется значительно меньше внимания, чем позднелатентным компонентам. Это, по-видимому, связано с тем, что онтогенетические изменения характеристик компонентов N1, P2 и N2 выражены не столь явно, и обнаруживают лишь единичные корреляции с возрастом, размерами головы, созреванием ассоциативных зон коры головного мозга или когнитивными характеристиками индивидуума. Вместе с тем, изучение даже немногочисленных корреляций может помочь открыть новый взгляд на взаимосвязь компонентов ВП с когнитивными и эмоциональными процессами, протекающими у детей, что определяет необходимость дальнейшего изучения этого вопроса.

5. ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЗДНЕЛАТЕНТНЫХ КОМПОНЕНТОВ ВП

Позднелатентные, или эндогенные, компоненты ВП, отражающие обеспечение более сложных сторон познавательной деятельности, могут быть зарегистрированы у детей всех возрастов, начиная с младенчества, но в каждом возрасте они имеют свою специфику. Наиболее систематические факты получены при исследовании возрастных изменений компонента P3 в ситуациях принятия решения.

Компонент P3 представляет собой позитивное колебание волны ВП, с латентностью пиковых значений от 250 до 500 мс, регистрируемое в случае привлечения внимания к целевым стимула на фоне стандартных раздражений [53]. Считается, что компонент P3 отражает включение в деятельность, переработку информации и построение нейрокогнитивных моделей. Соответственно этому, амплитуда данной волны зависит не от физических характеристик стимула, а от степени неопределенности, разрешаемой при его предъявлении [6]. P3 имеет широкую топографию распределения по поверхности головы с преобладанием в лобно-центральной, реже в теменно-центральных областях [39]. Данный компонент неоднороден по своей структуре и представляет собой комплекс волн, имеющих разную топографию и неодинаковые ЛП. В нем выделяют, по крайней мере, два колебания, которые могут как перекрываться, так и быть достаточно четко различимыми.

Существующую определенную зависимость между возрастом и характеристиками волны P3 описывают при помощи специальной «кривой старения» – линии регрессии, представляющую собой зависимость латентного периода от возраста для здоровых лиц без каких-либо неврологических и психических отклонений. К настоящему времени кривую старения рассматривают как часть кривой P3, описывающую увеличение латентности этого компонента после 16-17 лет, в то время как до этого возраста латентность P3 постепенно уменьшается [39, 48, 54]. Обратная закономерность наблюдается для амплитуды P3, которая увеличивается у детей и уменьшается у взрослых [5, 52]. Также значительное влияние на волну P3 оказывает типология личности, эмоциональное состояние и уровень бодрствования. Как предполагается, непрерывный характер

изменений указанных параметров обусловлен тем, что во всех возрастах действуют общие генераторы электрической активности [19].

Некоторые авторы на основе полученных данных склонны полагать, что динамика временных характеристик компонента РЗ обусловлена не влиянием самого биологического возраста, а зависит в основном от изменений у детей когнитивных функций и, в частности, памяти [54-56]. Исследования, проведенные на взрослых испытуемых, свидетельствуют о противоположной зависимости, и подкрепляются работами, в которых показано увеличение латентности пика РЗ у пациентов, страдающих слабоумием с нарушением памяти [57]. В то же время, Дж. Полиш [46] отмечает, что в то время как ЛП РЗ зависит как от возраста, так и объема памяти испытуемого, амплитуда этого эндогенного комплекса зависит только от возраста.

Параметры РЗ, как считается, являются индикатором когнитивной зрелости мозга, отражая процессы миелинизации и синаптогенеза в различных областях центральной нервной системы, и, прежде всего, во фронтальных регионах неокортекса [46, 57-59]. Исходя из этих факторов, а также сложной зависимости параметров волны РЗ и характеристик организма, имеется основание использовать компонент РЗ в клинической практике при оценке когнитивных процессов и уровня функциональной зрелости ЦНС [39, 60-62].

ВЫВОДЫ

1. Индивидуальные различия параметров ЭЭГ и ВП детей и подростков по сравнению с различиями у взрослых имеют двойную природу. Они отражают, во-первых, индивидуально устойчивые особенности работы нервных образований и, во-вторых, различия в темпах созревания мозгового субстрата и психофизиологических функций.
2. Исследования возрастной динамики ЭЭГ у детей показывают, что общим для всех является постепенное увеличение с возрастом пиковой частоты доминирующего ритма ЭЭГ и изменение его топографического распределения.
3. Онтогенетические преобразования структуры ВП, как ранне- и среднелатентных, так и позднелатентных, касаются в первую очередь таких характеристик колебаний, как ЛП и амплитуда пика волны. В то же время, не существует однозначного мнения по поводу направления этих изменений, в особенности для коротко- и среднелатентных компонентов, а зависимость параметров некоторых видов волн от возраста практически не описана в литературе.
4. Несмотря на выявление некоторых общих закономерностей в развитии электрической активности головного мозга у детей и подростков, существует большое число противоречащих друг другу результатов исследований, что подчеркивает необходимость дополнительных работ в этой области.

Список литературы

1. Мачинская Р.И. Формирование функциональной организации коры больших полушарий в покое у детей младшего школьного возраста с различной степенью зрелости регуляторных систем мозга. Сообщение II. Анализ когерентности α -ритма ЭЭГ / Р.И. Мачинская, Л.С. Соколова, Е.В. Крупская // Физиология человека. – 2007. – Т. 33, № 2. – С. 5–15.

2. Королева Н.В. Ведущие показатели зрелости биоэлектрической активности головного мозга у детей в возрасте от 1 до 7 лет / Н.В. Королева, С.А. Небера, И.Н. Гутник // Физиология человека. – 2002. – Т. 28, № 6. – С. 57–63.
3. Новикова Л.А. Возрастные особенности электрической активности мозга детей и подростков / Л.А. Новикова // Журн. высш. нерв. деят. – 1961. – Т.11, вып. 1. – С. 60–70.
4. Фарбер Д.А. Гетерогенность и возрастная динамика α -ритма электроэнцефалограммы / Д.А. Фарбер, В.Ю. Вильдавский // Физиология человека. – 1996. – Т. 22, № 5. – С. 5–12.
5. Age-related changes in child and adolescent event-related potential component morphology, amplitude and latency to standard and target stimuli in an auditory oddball task / S.J. Johnstone, R.J. Barry, J. W. Anderson [et al.] // Int J Psychophysiol. – 1996. – V. 24, № 3. – P. 223–238.
6. Основы психофизиологии / [Александров Ю.И., Шевченко Д.Г., Александров И.О. и др.]; отв. ред. Ю.И. Александров. – М.: ИНФРА-М, 1998. – 432 с.
7. Petsche H. Wie entsteht das EEG? / H. Petsche // EEG-Lab. – 1989. – V. 11, № 3. – P. 120–135.
8. Основы физиологии / [Кейси Т.М., Франкель Г.М., Гриминджер П. и др.]; под ред. П. Д. Стерки; пер. с англ. Н.Ю. Алексеенко, Н.Н. Алипова. – М.: Мир, 1984. – 556 с.
9. Knyazev G.G. Personality trait of behavioral inhibition is associated with oscillatory systems reciprocal relationships / G.G. Knyazev, H.R. Slobodskaya // Int. J. Psychophys. – 2003. – V. 48, № 3. – P. 247–261.
10. Knyazev G.G. Motivation, emotion, and their inhibitory control mirrored in brain oscillations / G.G. Knyazev // Neuroscience and biobehavioral reviews. – 2007. – V. 31, №3. – P. 377–395.
11. Гусельников В.И. Электрофизиология головного мозга / Гусельников В.И. – М.: Высшая школа, 1976. – 423 с.
12. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis / W. Klimesch // Brain Research Reviews. – 1999. – V. 29. – P. 169–195.
13. Бондарь А.Т. Еще раз о тонкой структуре α -ритма ЭЭГ человека: два спектральных компонента в состоянии покоя / А.Т. Бондарь, А.И. Федотчев // Физиология человека. – 2001. – Т. 27, № 1. – С. 15–22.
14. Горев А.С. Динамика частотных составляющих α -диапазона электроэнцефалограммы детей 9-10 лет в условиях релаксации / А.С. Горев // Физиология человека. – 1996. – Т. 22, № 5. – С. 45–48.
15. Гавриш Н.В. Природа изменчивости индивидуальных различий частотных характеристик альфа-диапазона ЭЭГ детей 6–8 лет / Н.В. Гавриш, С.Б. Малых // Журн. высш. нерв. деят. – 1994. – Т. 44, вып. 1. – С. 8–17.
16. Spectral Structure and Brain Mapping of Human Alpha Activities in Different Arousal States / J.L. Cantero, M. Atienza, C.M. Gómez [et al.] // Neuropsychobiology. – 1999. – V. 39, № 2. – P. 110–116.
17. Семенова О.А. Формирование произвольной регуляции деятельности и ее мозговых механизмов в онтогенезе / О.А. Семенова // Физиология человека. – 2007. – Т. 33, № 3. – С. 115–127.
18. Зенков Л.П. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии) / Зенков Л.П. – Таганрог : Изд-во ТРГУ, 1996. – 358 с.
19. Равич-Щербо И.В. Психогенетика / Равич-Щербо И.В., Марютина Т.М., Григоренко Е.Л. — М. : Аспект Пресс. – 2000. – 447 с.
20. Development of the EEG of school-age children and adolescents. II. Topography / T. Gasser, C. Jennen-Steinmetz, L. Sroka [et al.] // Electroenceph. clin. Neurophysiol. – 1988. – V. 69. – P. 100–109.
21. Безруких М.М. Структурно-функциональная организация развивающегося мозга и формирование познавательной деятельности в онтогенезе ребенка / М.М. Безруких, Р.И. Мачинская, Д.А. Фарбер // Физиология человека. – 2009. – Т. 35, № 6. – С. 10–24.
22. Петренко Н.Е. Механизмы опознания глобальной и локальной информации детьми младшего школьного возраста / Н.Е. Петренко // Новые исследования. – 2009. – № 1 (18). – С. 14–26.
23. Цехмистренко Т.А. Структурные преобразования ассоциативной коры как морфологическая основа развития когнитивных функций человека от рождения до 20 лет / Т.А. Цехмистренко, В.А. Васильева // Физиология человека. – 2001. – Т. 27, № 5. – С.41–48.
24. Фарбер Д.А. Особенности опознания фрагментарных изображений в 7–8 летнем возрасте. Анализ связанных с событием потенциалов / Д.А. Фарбер, Н.Е. Петренко // Физиология человека. – 2009. – Т. 35, № 3. – С. 5–12.
25. Цехмистренко Т.А. Структурные преобразования cito- и фиброархитектоники фронтальной коры мозга человека от рождения до 20 лет / Т.А. Цехмистренко, Н.А. Черных, И.К. Шеховцев // Физиология человека. – 2010. – Т. 36, № 1. – С. 32–40.

26. Кулаковский Ю.В. Возрастные особенности мозговой организации вербальной деятельности: электрофизиологический анализ / Ю.В. Кулаковский, Н.В. Дубровинская // Физиология человека. – 1997. – Т. 23, № 3. – С. 122–124.
27. Кожушко Н.Ю. Возрастные особенности формирования биоэлектрической активности мозга у детей с отдаленными последствиями перинатального поражения ЦНС. Сообщение I. Спонтанная активность / Н.Ю. Кожушко // Физиология человека. – 2005. – Т. 31, № 1. – С. 5–14.
28. Фарбер Д.А. Функциональная организация развивающегося мозга: возрастные особенности и некоторые закономерности / Д.А. Фарбер, Н.В. Дубровинская // Физиология человека. – 1991. – Т. 17, № 5. – С. 17–27.
29. Фарбер Д.А. Электроэнцефалограмма детей и подростков / Д.А. Фарбер, В.В. Алферова. – М. : Педагогика, 1972. – 216 с.
30. Веденева Л.С. Особенности статистической структуры взаимодействия основных компонентов ЭЭГ у детей школьного возраста / Л.С. Веденева, С.И. Сороко, А.Н. Шеповальникова // Физиология человека. – 1998. – Т. 24, № 1. – С. 5–12.
31. Рожков В.П. Формирование взаимодействия между волновыми компонентами основных ритмов ЭЭГ у детей первых пяти лет жизни / В.П. Рожков, С.И. Сороко // Физиология человека. – 2000. – Т. 26, № 6. – С. 5–19.
32. Структурно-функциональная организация развивающегося мозга / [Д.А. Фарбер, Л.К. Семенова, В.В. Алферова, и др.]. – Л. : Наука, 1990. – 198 с.
33. Соколова Л.С. Формирование функциональной организации коры больших полушарий в покое у детей младшего школьного возраста с различной степенью зрелости регуляторных систем мозга. Сообщение I. Анализ спектральных характеристик ЭЭГ в покое / Л.С. Соколова, Р.И. Мачинская // Физиология человека. – 2006. – Т. 32, № 5. – С. 5–14.
34. Дубровинская Н.В. Динамический характер и возрастная обусловленность функциональной организации мозга при внимании / Н.В. Дубровинская, Р.И. Мачинская, Ю.В. Кулаковский // Журн. высш. нервн. деят. – 1997. – Т. 47, вып. 2. – С. 196–208.
35. Поляков В.М. Функциональная асимметрия мозга в онтогенезе (обзор литературы отечественных и зарубежных авторов) / В.М. Поляков, Л.И. Колесникова // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2006. – № 5 (51). – С. 322–331.
36. Ларькина Е.Г. Характеристики θ - и α -диапазонов спектра ЭЭГ подростков 15–17 лет / Е.Г. Ларькина, А.В. Киренская // Физиология человека. – 2005. – Т. 31, № 6. – С. 26–31.
37. ЭЭГ-корреляты эмоциональных расстройств и отклонений в поведении у школьников / Г.Г. Князев, Е.Р. Слободская, Л.И. Афтанас [и др.] // Физиология человека. – 2002. – Т. 28, № 3. – С. 16–22.
38. Венгер Л.А. Соотношение обучения, психического развития и функциональных особенностей созревающего мозга / Л.А. Венгер, А.А. Ибатулина // Вопросы психологии. – 1989. – № 2. – С. 20–27.
39. Гнездицкий В.В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике / Гнездицкий В.В. – М. : МЕДпресс-информ, 2003. – 264 с.
40. Коваленко А.А. Эмоциональная значимость стимула и черты личности: отражение в паттерне вызванных потенциалов / А.А. Коваленко, В.Б. Павленко // Нейрофизиология / Neurophysiology. – 2009. – Т. 41, № 4. – С. 336–357.
41. Fonaryova A.P. Linking brainwaves to the brain: an ERP primer / A.P. Fonaryova, G.O. Dove, M.J. Maguire // Dev. Neuropsychol. – 2005. – V. 27, № 2. – P. 183–215.
42. Коваленко А.А. Отражение эмоциональной значимости визуальных стимулов в характеристиках вызванных ЭЭГ-потенциалов / А.А. Коваленко, В.Б. Павленко, С.В. Черный // Нейрофизиология / Neurophysiology. – 2010. – Т. 42, № 1. – С. 78–87.
43. Vaughan H.G. The sources of auditory evoked responses recorded from the human scalp / H.G. Vaughan, W. Ritter // Electroenceph. clin. Neurophysiol. – V. 28, № 4. – P. 360–367.
44. Taylor M.J. Cognitive evoked potentials in children: normal and abnormal development / M.J. Taylor, L. Pourcelot // Neurophysiol. Clin. – 1995. – V. 25, № 3. – P. 130–145.
45. Глухова Е.Ю. Слуховые вызванные потенциалы у новорожденных детей / Е.Ю. Глухова // Новости оториноларингологии и логопатологии. – 2002. – № 3. – С. 107–112.
46. Polich J. Normal variation of P300 in children: age, memory span, and head size / J. Polich, C. Ladish, T. Burns // Int. J. Psychophysiology. – 1990. – V. 9. – P. 237–248.

47. The effects of age on the N200 component of the auditory event-related potentials / H. Enoki, S. Sanada, H. Yoshinaga [et al.] // *Cogn. Brain Res.* – 1993. – V. 1, № 3. – P. 161–167
48. Brown W.S. Exponential electrophysiological aging: P3 latency / W.S. Brown, J.T. Marsh, A. LaRue // *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* – 1983. – V. 55, № 3. – P. 277–285.
49. Age-related variations in evoked potentials to auditory stimuli in normal human subjects / D.S. Goodin, K.S. Squires, B.H. Henderson [et al.] // *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* – 1978. – V. 44. – P. 447–458.
50. Event-related potential changes in healthy aged females / A. Pfefferbaum, J.M. Ford, W.T. Roth [et al.] // *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* – 1979. – V. 46. – P. 81–86.
51. Age-related changes in auditory event-related potentials / A. Pfefferbaum, J.M. Ford, W.T. Roth [et al.] // *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* – 1980. – V. 49. – P. 266–276.
52. Taylor M.J. Discrimination of single features and conjunctions by children / M.J. Taylor, H. Chevalier, N.J. Lobaugh // *Int. J. Psychophysiol.* – 2003. – V. 51, № 1. – P. 85–95.
53. Суворов Н.Ф. Психофизиологические механизмы избирательного внимания / Н.Ф. Суворов, О.П. Таиров. – Л. : Наука, 1985. – 287 с.
54. Polich J. P300 topography and modality effects from a single-stimulus paradigm / J. Polich, M.R. Heine // *Psychophysiology.* – 1996. – V. 33, № 6. – P. 747–752.
55. Dempster F.N. Memory span: sources of individual and developmental differences / F.N. Dempster // *Psychol. Bull.* – 1981. – V. 89. – P. 63–100.
56. Case R. Operational efficiency and the growth of short-term memory span / R. Case, D.M. Kurland, J. Goldberg // *J. Exp. Child Psychol.* – 1982. – V. 33 – P. 386–404.
57. Johnson R. P300 and long-term memory: latency predicts recognition performance / R. Johnson, A. Pfefferbaum, B.S. Kopell // *Psychophysiology.* – 1985. – V. 22. – P. 497–507.
58. Travis F. Cortical and cognitive development in 4th, 8th and 12th grade students. The contribution of speed of processing and functioning to cognitive development / F. Travis // *Biol. Psychology.* – 1998. – V. 48. – P. 37–56.
59. Polich J. Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review / Polich J., A. Kok // *Biol. Psychology.* – 1995. – V. 41. – P. 103–146.
60. Polich J. Clinical application of the P300 event-related brain potential / J. Polich // *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* – 2004. – V. 15, № 1. – P. 133–161.
61. Sclare D.A. Latency of P3 event-related potential: normative aspects and within-subject variability / D.A. Sclare, G.E. Lynn // *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* – 1984. – V. 59, № 5. – P. 420–424.
62. Differential effects of normal aging on sources of standard N1, target N1 and target P300 auditory event-related brain potentials revealed by low resolution electromagnetic tomography (LORETA) / P. Anderer, R.D. Pascual-Marqui, H.V. Semlitsch [et al.] // *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* – 1998. – V. 108. – P. 160–174.

Алиева Т.А. Вікові зміни електроенцефалограми та викликаних потенціалів у дітей / Т.А. Алиева, В.Б. Павленко // *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”.* – 2010. – Т. 23 (62), № 3. – С. 3-14.

У статті підсумовані літературні дані про зміни електричної активності головного мозку у дітей. Наведені факти свідчать, що з віком паттерн електроенцефалограми і просторово-часові характеристики викликаних потенціалів зазнають закономірних змін.

Ключові слова: електроенцефалограма, викликані потенціали, діти.

Alieva T.A. Age-related changes in child electroencephalography and event-related potentials / T.A. Alieva, V.B. Pavlenko // *Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University.* – Series: *Biology, chemistry.* – 2010. – Vol. 23 (62), No 3. – P. 3-14.

The article summarizes literature data about changes in the electrical activity of the brain of children. Presented facts argue that the pattern of the electroencephalogram and spatio-temporal characteristics of evoked potentials undergo changes with age.

Keywords: electroencephalogram, evoked potentials, children.

Поступила в редакцію 06.10.2010 г