

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

Серия «Биология, химия». Том 25 (64). 2012. № 2. С. 3-10.

УДК 612.822.3.08

ЛОНГИТЮДНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗРАСТНОЙ ДИНАМИКИ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ У ШКОЛЬНИКОВ 10-12 ЛЕТ

Алиева Т.А., Алядинова Э.И., Павленко В.Б.

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

Изучали онтогенетические изменения вызванных ЭЭГ-потенциалов (ВП), зарегистрированных с помощью модификации двустимульной go/no-go-парадигмы в ходе лонгитюдного эксперимента у 21 ребенка 10-12 лет. Получены данные, подтверждающие, что с возрастом амплитудные и временные характеристики вызванных потенциалов претерпевают закономерные изменения. Были отмечены изменения значений амплитуды компонентов P1, N1, P2, P3 и комплекса волн N1-P2, значений латентного периода компонентов N1, P2 и позднелатентного компонента P3, а также среднего времени реакции. Также обнаружена стабильность индивидуальных особенностей амплитуды некоторых компонентов ВП, в частности N1, P3 и комплекса волн N1-P2.

Ключевые слова: вызванные потенциалы, онтогенетические изменения, дети.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема особенностей работы головного мозга на различных этапах онтогенеза является весьма важной не только для нейрофизиологии, но и для других областей науки, поскольку она является основополагающей при изучении становления высших психических функций и их эффективного развития. Наиболее распространенным на сегодняшний день методом исследования функциональной активности головного мозга наряду с электроэнцефалограммой является метод вызванных ЭЭГ-потенциалов (ВП). В литературе к настоящему моменту накоплено значительное количество сведений, касающихся этого вопроса, однако единого мнения относительно возрастной динамики показателей компонентов ВП у детей не существует [1]. Помимо этого, описанные изменения характеристик различных компонентов ВП выражены неявно, и обнаруживают лишь единичные корреляции с возрастом, размерами головы, и созреванием ассоциативных зон коры головного мозга. Возможной причиной этого является регистрация ЭЭГ-потенциалов в условиях предъявления относительно простых стимулов.

Кроме того, несмотря на существование определенных закономерностей в формировании электрических ответов мозга, ВП детей отличаются большой меж- и

интрасубъектной вариабельностью. Усредненные результаты, полученные при изучении разнородной по своему составу выборки, могут сильно отличаться от закономерностей развития мозга каждого отдельно взятого испытуемого, поскольку ВП являются одновременно функцией не только от возраста испытуемого, но и от когнитивных процессов, которые необходимы для решения возникшей задачи [2]. При этом изучение онтогенетического развития характеристик связанных с событиями потенциалов в ходе лонгитюдного эксперимента позволило бы решить данную проблему.

Исходя из вышеизложенного, целью данного исследования было выявление индивидуальных особенностей возрастной динамики вызванных потенциалов, зарегистрированных в ситуации, требующей вовлечения значительного количества когнитивных ресурсов мозга у одних и тех же детей 10-12 лет в ходе лонгитюдного исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В проведенном исследовании принял участие 21 практически здоровый ребенок в возрасте 10–12 лет (10 девочек и 11 мальчиков), учащихся средней общеобразовательной школы г. Симферополя. Исследование представляло собой серию из трех последовательных диагностических посещений, проводимых каждый учебный год (в пятом, шестом и седьмом классах). При каждом посещении у детей снимали одни и те же показатели.

Для выяснения возрастной динамики параметров связанных с событиями потенциалов была использована модификация двустимульной go/по-go-парадигмы, в которой стимулы предъявляются парами: предупреждающий стимул и стимул, иницирующий или запрещающий двигательный ответ. Во время опыта испытуемые располагались в удобном кресле в затемненной комнате. Участникам исследования предъявлялись 30 пар акустических стимулов разной тональности (высокая–высокая, высокая–низкая, низкая–низкая, низкая–высокая) с интервалами по 2 с внутри пары и по 4 с между парами. Длительности низко- и высокочастотного сигналов (400 и 1000 Гц соответственно) составляют 200 мс. Пары тональных стимулов предъявлялись в случайном порядке с одинаковой (приближающейся к 50 %) вероятностью появления как низкого, так и высокого тона. Испытуемый готовился к ответу после предупреждающего стимула и нажимал кнопку после «иницирующего» стимула (go-проба) или воздерживался от нажатия после запрещающего стимула (no-go-проба). Задача испытуемых заключалась в том, чтобы нажать на кнопку правой рукой со временем реакции не более 380 мс в ответ на предъявление пары высоко- или низкочастотных стимулов и не реагировать на пары сигналов, имеющих разную тональность.

Отведение и анализ вызванных потенциалов осуществлялось с помощью автоматизированного комплекса, состоящего из электроэнцефалографа, интерфейса и компьютера. ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно, в точках F3, F4, C3, C4, T3, T4, P3, P4, O1 и O2, согласно международной системе «10–20». Референтным

электродом служили объединенные контакты над сосцевидными отростками черепа.

Компоненты P1, N1, P2, N1–P2 (вертекс-потенциал) и N2, рассматриваемые как средне- и длинноталентные компоненты акустических ВП, регистрировали в случае предъявления всех предупредительных (первых в паре) сигналов, а потенциал P300 – при предъявлении всех зрительных сигналов обратной связи. В ходе анализа всех указанных компонентов комплекса ВП усреднялись все реализации, не содержащие артефактов. В процесс усреднения включались и те реализации, при которых задание было выполнено испытуемым неправильно (пропуск значимых пар стимулов, ложное нажатие при предъявлении незначимых пар стимулов либо превышение граничного значения времени реакции). Максимумы анализируемых компонентов ВП соответствовали следующим временным интервалам: P1 – 50-100, N1 – 100-150, P2 – 150-250, N2 – 200-300, P3 – 250-500 мс после предъявления сигналов

Данные электрофизиологического исследования количественно обрабатывались посредством стандартных методов вариационной статистики. Соответствие полученных результатов закону нормального распределения устанавливалось с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Для определения достоверности различий характеристик вызванных ЭЭГ-потенциалов между посещениями исследований применяли Т-критерий Стьюдента (для показателей, характеризующихся нормальным распределением) и критерий Вилкоксона (в случаях, когда распределение показателей отличалось от нормального) для попарно связанных вариантов. Корреляционный анализ осуществлялся с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты исследования, характеристики различных компонентов ВП у одних и тех же испытуемых закономерно изменялись при каждой последующей регистрации. Изменения амплитудно-временных характеристик ВП имели определенные топографические особенности. Кроме того, необходимо отметить, что онтогенетические изменения затрагивали не все характеристики ВП и зависели от номера посещения. Наибольшее число достоверных различий, как и следовало ожидать, было отмечено при сравнении результатов первого и третьего посещения. Данные различия касались преимущественно ранне- и среднеталентных компонентов ВП. Так, в частности, обнаружили тенденцию к уменьшению амплитуды компонентов P1 и P2. Статистически значимые ($p < 0,05$) изменения величины амплитуды компонента P1 были установлены для ВП, зарегистрированных от центральной и теменной области левого полушария, компонента P2 – для ВП, зарегистрированных в центральном, височном и затылочном отведениях левого полушария (рис. 1). Кроме того, амплитуда потенциала P1 при сравнении результатов второго и третьего посещения достоверно снижалась в центральных, а также и левых лобном и теменном отведениях.

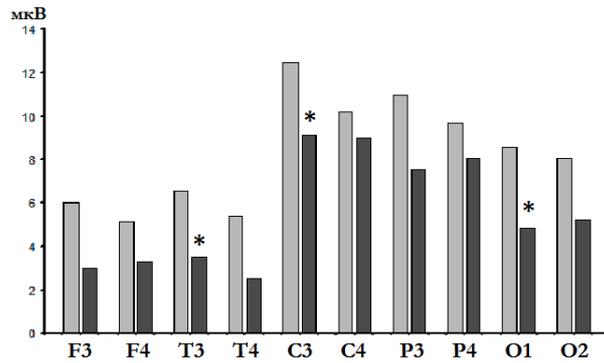


Рис.1. Диаграммы средних значений амплитуды компонента P2, зарегистрированных во время первого (светлые столбики) и третьего (темные столбики) посещения.

Примечание: Звездочками отмечены случаи значимых отличий значений амплитуды компонента P2. F3, F4, C3, C4, T3, T4, P3, P4, O1 и O2 – локусы отведения ЭЭГ-потенциалов согласно системе 10-20. По вертикали – величина амплитуды вызванных потенциалов (мкВ).

Амплитуды компонента N1, зарегистрированные в ходе третьего экспериментального сеанса, были больше соответствующих значений, зарегистрированных в ходе первого сеанса, достигая статистически достоверного уровня различий в правом лобном отведении (рис. 2). Также с возрастом происходит уменьшение амплитуды комплекса волн N1–P2 (вертекс-потенциал). Наиболее яркие изменения амплитуды вертекс-потенциала ко второму посещению произошли в височных и правой теменной области, причем в левом височном отведении достоверные различия были отмечены также при сравнении первого и третьего посещения.

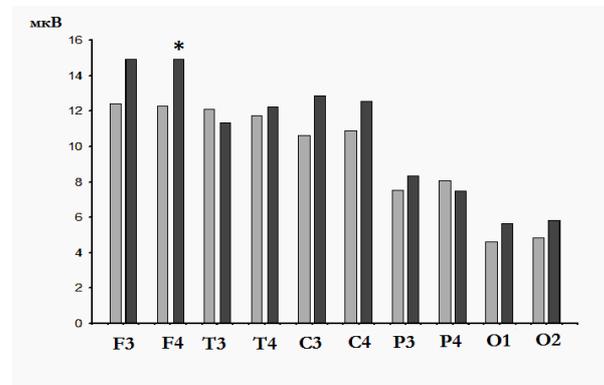


Рис.2. Диаграммы средних значений амплитуды компонента N1, зарегистрированных во время первого (светлые столбики) и третьего (темные столбики) посещения.

Условные обозначения те же, что и на рис.1.

Полагают [3], что компонент N1 связан с такой характеристикой стимула, как его интенсивность – четкая генерация данной волны указывает на то, что интенсивность стимула достаточна для его различения. Полученные нами данные позволяют предположить, что у детей 10–12 лет улучшаются процессы, связанные с ранним анализом получаемого стимула, поскольку лобные доли традиционно связываются с высшими когнитивными функциями головного мозга [4].

В то же время, снижение амплитуды ранних положительных компонентов P1 и P2, а также вертекс-потенциала указывает на качественно иные процессы, происходящие при созревании головного мозга. Согласно литературным источникам потенциал P1 отражает привлечение внимания по отношению к предупредительному сигналу [5], а потенциал P2 и комплекс N1–P2 – эффективность работы мозга по его переработке [6, 7]. У взрослых испытуемых амплитуда данного компонента положительно коррелирует с уровнем внимания [8], однако существуют данные согласно которым с возрастом у детей происходит уменьшение амплитуды компонентов P2 и N2 [9, 10].

Анализ амплитудных характеристик эндогенного потенциала P3, регистрируемого при привлечении внимания к целевым стимулам на фоне стандартных раздражений [11], показал, что амплитуда этого потенциала с возрастом увеличивалась, достигая наибольших значений к моменту третьей регистрации. Достоверные различия между результатами, полученными в ходе первого и третьего посещений, были отмечены в левых затылочном и теменном отведениях (рис.3). В ходе исследования также отмечалось изменение временных характеристик волны P3. Латентный период этого компонента увеличивался, при этом достоверный уровень различий отмечался в затылочных и височных областях при сравнении результатов первого и третьего экспериментальных сеансов, в левом центральном отведении – при сравнении результатов первого и второго сеансов, и в центральных и затылочных областях – при сравнении результатов второго и третьего сеансов.

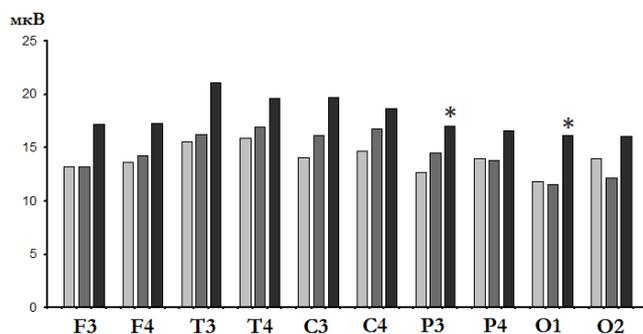


Рис.3. Диаграммы средних значений амплитуды компонента P3, зарегистрированных во время первого (светлые столбики), второго (темные столбики) и третьего (черные столбики) посещения.

Условные обозначения те же, что и на рис.1.

Считается, что компонент P3 отражает включение в деятельность, переработку информации и построение нейрокognитивных моделей [12]. Характеристики данной волны зависят не только от возраста и изменений у детей когнитивных функций, но и от степени неопределенности, разрешаемой при предъявлении задания [13–15]. Увеличение амплитуды волны P3 в третьем сеансе эксперимента по сравнению с первым сеансом отражает более тщательную обработку результатов выполненного действия. Большой рост значений этого показателя в левых отведениях связан с преобладающей ролью левого полушария в процессах, связанных с аналитической деятельностью. Необходимо отметить, что изменение характеристик компонента P3 происходит на фоне достоверного увеличения среднего времени реакции ($p < 0,001$) и тенденции к уменьшению количества пропусков значимых стимулов, что является подтверждением возрастающей эффективности когнитивных процессов у детей 10-12 лет.

Кроме того, для описания стабильности индивидуальных особенностей ВП в течение времени, мы рассчитали коэффициенты корреляции между амплитудами компонентов ВП, зарегистрированных во время первого, второго и третьего посещений. Между значениями амплитуд вертекс-потенциала, зарегистрированных во время первого и третьего посещения, значимые корреляции были обнаружены во всех отведениях, за исключением правого центрального и затылочных обоих полушарий. Значимые коэффициенты корреляции для этого показателя принимали значение от 0,43 до 0,65 при $0,001 < p < 0,02$. Также были обнаружены значимые корреляции амплитуд вертекс-потенциала, зарегистрированных в лобных, височных, центральных и теменных областях во время второго и третьего сеанса эксперимента ($0,48 < r < 0,69$ при $0,0007 < p < 0,02$). Большое количество значимых корреляции было отмечено для амплитуд компонента N1 – в лобных, височных и центральных областях головного мозга в записях ВП при первом и втором посещении ($0,54 < r < 0,7$ при $0,0003 < p < 0,01$), и правой лобной и центральных областях в записях ВП при первом и третьем посещении ($0,49 < r < 0,65$ при $0,001 < p < 0,02$). Необходимо отметить обнаруженную в ходе исследования стабильность амплитуды длиннолатентного компонента P3 в лобных областях головного мозга. Коэффициенты корреляции значений амплитуды данного потенциала, зарегистрированного во время первого и третьего посещения принимали значение от 0,17 до 0,5 при $0,02 < p < 0,46$, во время первого и второго посещения – от -0,04 до 0,5 при $0,1 < p < 0,85$, во время второго и третьего – от -0,08 до 0,69 при $0,001 < p < 0,81$.

Так как наиболее тесными были взаимосвязи между амплитудами вертекс-потенциала и компонентов N1 и P3, зарегистрированных при первом и третьем посещении, можно считать, что эти ВП в наибольшей степени сохраняли свои характеристики в течение эксперимента. Учитывая описанные выше функциональные значения этих компонентов можно заключить, что у детей 10-12 лет существует определенная стабильность индивидуальных особенностей таких когнитивных процессов, как ранний анализ стимула и анализ принимаемых решений.

ВЫВОДЫ

1. Амплитудно-временные параметры вызванных потенциалов, зарегистрированных в ходе лонгитюдного эксперимента с использованием go/по-go-парадигмы у детей 10-12 лет, обнаруживают определенные закономерности возрастной динамики, которые отражают как общее физиологическое развитие, так и становление когнитивных функций мозга.
2. Амплитудные характеристики N1 обнаружили тенденцию к росту своих значений, достигая значимых различий в лобных областях больших полушарий, что свидетельствует об улучшении процессов анализа подаваемого стимула во время третьего диагностического посещения по сравнению с первым и вторым посещениями.
3. Становление у детей когнитивных функций отражается в увеличении среднего времени реакции и увеличении амплитуды эндогенного компонента P3, что свидетельствует об усилении процессов обработки информации, необходимой для принятия решения об изменении стратегии.
4. Наиболее стабильными на протяжении лонгитюдного исследования являлись индивидуальные особенности амплитуды компонентов N1 и P3, а также вертекс-потенциала.

Список литературы

1. Johnson D.E. Medical and developmental sequelae of early childhood institutionalization in Eastern European adoptees / D.E. Johnson // *Minnesota Symposia on Child Psychology*. – 2000. – № 31. – P. 113–162.
2. 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.
3. 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.
4. The effects of decreased audibility produced by high-pass noise masking on cortical event-related potentials to speech sounds / B.A. Martin, A. Sigal, D. Kurtzberg, D.R. Stappells // *J. Acoust. Soc. Am.* – 1997. – V. 101, № 3. – P. 1585–1599.
5. Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека и их нарушения при локальных поражениях мозга / Лурия А.Р. – М.: Изд-во Московского университета, 1969 – 503 с.
6. Гнездицкий В. В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике / Гнездицкий В. В. – М.: МЕДпресс-информ, 2003. – 264 с.
7. Polich J. P300 topography of amplitude/latency correlations / J. Polich, J.E. Alexander, L.O. Bauer // *Brain Topogr.* – 1997. – V.9, №4. – P. 275–282.
8. The effects of age on the N200 component of the auditory event-related potentials / H. Enoki, S. Sanada, H. Yoshinaga, E. Oka [et al.] // *Cogn. Brain Res.* – 1993. – V. 1, № 3. – P. 161–167.
9. Наатен Р. Внимание и функции мозга / Наатен Р. – М.: Изд-во Московского университета, 1998. – 560 с.
10. 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.
11. 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.
12. Суворов Н. Ф. Психофизиологические механизмы избирательного внимания / Н. Ф. Суворов, О. П. Таиров. – Л.: Наука, 1985. – 287 с.
13. Основы психофизиологии / [Александров Ю. И., Шевченко Д. Г., Александров И. О. и др.]; отв. ред. Ю. И. Александров. – М.: ИНФРА-М, 1998. – 432 с.

14. 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.
15. Dempster F. N. Memory span: sources of individual and developmental differences / F. N. Dempster // Psychol. Bull. – 1981. – V. 89. – P. 63–100.
16. 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.

Алієва Т.А. Лонгітюдне дослідження вікової динаміки характеристик викликаних потенціалів у школярів 10-12 років / Т.А. Алієва, Е.І. Алядінова, В.Б. Павленко // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2012. – Т. 25 (64), № 2. – С. 3-10. Вивчали онтогенетичні зміни викликаних ЕЕГ-потенціалів (ВП), зареєстрованих за допомогою модифікації двостимульної go/no-go-парадигми у протязі лонгітюдного експерименту у 21 дитини 10-12 років. Отримані дані, що підтверджують закономірні вікові зміни, які відбуваються з амплітудними та часовими характеристиками викликаних потенціалів. Були зареєстровані зміни значень амплітуди компонентів P1, N1, P2, P3 і комплексу хвиль N1–P2, значень латентного періоду компонентів N1, P2 та пізньолатентного компоненту P3, а також середнього часу реакції. Також виявлена стабільність індивідуальних особливостей амплітуди деяких компонентів ВП, зокрема N1, P3 і комплексу хвиль N1–P2.

Ключові слова: викликані потенціали, онтогенетичні зміни, діти.

Alieva T.A. Longitudinal study of age-related changes of event-related potentials characteristics in 10-12 years-old schoolchildren's / T.A. Alieva, E.I. Alyadinova, V.B. Pavlenko // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2012. – Vol. 25 (64), No 2. – P. 3-10.

Age-related changes of 21 10-12 years-old schoolchildren's event-related potentials in longitudinal study were studied, assessed using go/no-go paradigm modification. Obtained data are an evidence of the appropriate change of amplitude and temporal parameters of event-related potentials with age. The changes of the average reaction time, P1, N1, P2, P3 components and the wave complex N1-P2 amplitude, N1, P2 and P3 components latency values were observed. In addition, some ERP components, especially N1, P3 and complex N1-P2 waves, amplitude stability was found.

Keywords: event-related potentials, age-related changes, children.

Поступила в редакцію 16.04.2012 г.