

Возрастные особенности функциональной организации мозговых механизмов переработки информации

В. С. Лизогуб, Н. П. Черненко, В. А. Пустовалов, Т. В. Кожемяко,
А. А. Палабиык, С. Н. Хоменко

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-157V117-07>

Черкасский национальный университет им. Б. Хмельницкого, Научно-исследовательский институт физиологии имени М. Босого, г. Черкассы, Украина
Corresponding author. E-mail: v_lizogub@ukr.net

Paper received 24.01.18; Accepted for publication 29.01.18.

Аннотация. У подростков 12-13 лет и студентов 18-20 лет исследовали количество и качество переработанной информации в режиме go/nogo/go, амплитуду и латентность P_{300} , скорость простых (ПСМР) и сложных реакций выбора дух из трех раздражителей (РВ2-3), а также время моторного (МК), сенсорного (СК) компонентов и центральной обработки информации (ЦОИ). Установлено, что у подростков 12-13 лет количественные и качественные характеристики переработанной информации, скорость РВ2-3, МК, СК и ЦОИ постепенно повышаются и достигают максимума в 18-20 лет. В этот период нейроонтогенеза отмечена постепенная реорганизация мозговой активности, которая сопровождалась уменьшением латентности и повышением амплитуды P_{300} в центральных и теменных участках коры. Таким образом, в онтогенезе повышаются количественные и качественные характеристики переработанной информации с одновременной постепенной перестройкой центральных регуляторных систем мозга (амплитуда и ЛП, P_{300}) и периферических механизмов (сенсорных и моторных) функциональной организации нервной системы.

Ключевые слова: переработка информации, скорость дифференцирования зрительных раздражителей, сенсорные, моторные и центральные компоненты реакций, амплитуда и латентность P_{300} , возрастная динамика.

Введение. Для исследования эндогенных событий головного мозга используют анализ потенциала P_{300} [1]. С их помощью получены важные результаты относительно участия вызванных потенциалов (ВП) в раскрытии механизмов работы мозга, сложных форм поведения, учебы, эмоциональных реакций, мышления и др. [2, 4, 7, 8]. Считается, что вызванные потенциалы P_{300} позволяют получить объективную характеристику активности головного мозга, поскольку являются электрофизиологическим коррелятом времени обработки информации, а также привлечения памяти и внимания [2, 14]. В тоже время, процесс переработки сложной сенсомоторной информации в режиме go/nogo/go включает, как минимум, три функциональных компонента: сенсорный - способность к восприятию информации, центральный - анализ и формирование программы действия в нервных центрах, а также осуществление моторного ответа [5, 12]. Вероятно, что характеристики сложных сенсомоторных реакций, ВП и, особенно, P_{300} могут быть чувствительными индикаторами, как количественных и качественных характеристик переработки информации, так и особенностей функциональной организации головного мозга. Вместе с тем возрастная динамика P_{300} и скорости сложных сенсомоторных актов во время переработки информации изучены недостаточно. Предполагаем, что нейроонтогенез переработки информации сопровождается функциональными перестройками на разных уровнях организации нервной системы, и что они связаны с латентностями и амплитудными характеристиками P_{300} , а также характеристиками сенсомоторных реакций.

Цель – установить особенности функциональной организации мозговых механизмов переработки сенсомоторной информации в режиме go/nogo/go у лиц различного возраста.

Методика. В исследовании переработки информации в режиме go/nogo/go принимали участие 40 подростков 12-13 и 35 студентов 18-20 лет. Использовали методику и диагностический комплекс "Диагност-

1М" [5]. Всем обследуемым предлагалось в течении 5 минут воспринимать, анализировать и осуществлять правильные двигательные действия в ответ на предъявление в случайном порядке положительных (круг или квадрат) и тормозных (треугольник) раздражителей. Обследуемому предлагалось при появлении круга быстро нажать и отпустить пальцем правой руки на правую кнопку (go). Появление квадрата требовало быстрого нажатия левой рукой на левую кнопку (go). На треугольник - тормозной сигнал - не нажимать ни на одну из кнопок (nogo). Предъявление раздражителей проводилось в случайном порядке (режим «обратная связь»), когда длительность экспозиции тестирующего сигнала изменялась автоматически в зависимости от характера ответных реакций испытуемого: после правильного ответа экспозиция следующего сигнала укорачивалась на 20 мс, а после неправильного - удлинялась на ту же величину. Во время переработки информации регистрировали показатели: количества предъявленных раздражителей, ошибочных реакций, время осуществления ПСМР, РВ2-3, а также скорость МК, СК и ЦОИ [5].

Для исследования возрастной динамики P_{300} сравнивали группы подростков и студентов. В начале работы экспериментатор предупреждал о регистрации серии зрительных сигналов двух типов среди которых были - целевые стимулы (круг, квадрат - 70%), и нецелевые (треугольник - 30%), которые необходимо было подсчитать и сообщить результат. Общее число стимулов - 30, подача в случайном порядке. Время экспозиции 0,05 с, межстимульный интервал 1,5 с. Эпоха анализа составляла 250 мс к моменту начала подачи стимула и 750 мс потом. Частота дискретизации сигнала представляла 500 Гц. Регистрацию P_{300} проводили в ситуации "события, которое возникает случайно" (oddball paradigm).

Запись и анализ ЕЕГ осуществляли с помощью ЕЕГ-комплекса "Нейроком" ("ХАИ-медика"). В соответствии с международной схемой 10/20 накладывались 19 электродов. В качестве референтного исполь-

зовался объединенный ушной электрод. Электроды размещались на голове обследуемого в соответствие с международной системой установки электродов. Поскольку ВП широко представлены в лобно-центральной и затылочной области то для его регистрации использовали отведения: C3, C4 Cz, P3, P4, Pz [2]. Референтные электроды устанавливали на мочках уха. Ответы на значимый и незначимый стимулы выделялись отдельно. Анализировали ЛП компонентов ВП (N2, P3, N3) и амплитуду волны P₃₀₀.

Статистический анализ данных проводили с помощью пакета STATISTICA (StatSoft, USA, 2001). Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез воспринимался на уровне 0,05.

Результаты и их обсуждение. Были исследованы и проанализированы возрастные особенности переработки зрительной информации дифференцирования положительных и тормозных раздражителей в режиме go/nogo/go (табл. 1).

Таблица 1. Показатели количества и качества переработки информации обследуемыми разного возраста

Исследуемые показатели	Возрастные группы, лет		Вероятность различий, p
	12-13	18-20	
Количество переработанной информации за 5 мин., фигур	576±13,4	650±15,2	<0,05
Абсолютное количество ошибок, X±m	98±8,2	75±9,1	<0,05
Относительное количество (% ошибок, X±m	17,0±3,0	11,5±2,3	<0,05

Как видно из табл. 1 при выполнении работы подростки 12-13 лет за 5 минут переработали меньший объем информации и допустили при этом большее абсолютное и относительное количество ошибок чем студенты 18-20 лет (p>0,05). Это указывает на то, что максимальная концентрация психофизиологических функций и высокое количество и качество работы переработки информации достигается к возрасту 18-20 лет.

Корреляционный анализ, который мы провели в группе студентов, обнаружил положительную связь количества переработанной информации с показателями амплитуды пика волны P₃₀₀ на целевые стимулы и негативного компонента N₂₀₀, которое было наиболее выражено в отведении Cz и отрицательную связь с показателями скорости PB2-3, СК, ЦОИ. И не обнаружил такой связи с показателями ПЗМР (r = -0,18; p>0,05). Количество переработанной информации в режиме go/nogo/go отрицательно коррелировала с латентностями пика P₃₀₀ (r = -0,28; p<0,05) и N₂₀₀ (r = -0,38; p<0,05), а также временем PB2-3 (r = -0,37; p<0,05), и ЦОИ (r = -0,41; p<0,05) и положительно с амплитудой P₃₀₀ (r = -0,41; p<0,05) и N₂₀₀ (r = -0,43; p<0,05). В тоже время количество ошибок, которое допустили студенты при переработке информации обнаружил положительную связь с PB2-3 (r = -0,48; p<0,05), ЦОИ (r = -0,36; p<0,05), МК (r = -0,28; p<0,05) и СК (r = -0,31; p<0,05), а также отрицательную зависимость с амплитудами пика P₃₀₀ (r = -0,38; p < 0,05) и

N₂₀₀ (r = -0,43; p<0,05).

Корреляционный анализ количества переработанной информации в группе подростков обнаружил положительную связь количества переработанной информации с показателями амплитуды пика волны P₃₀₀ (r = 0,39; p<0,05) и отрицательную связь с показателями скорости PB2-3 (r = -0,33; p<0,05), СК (r = -0,43; p < 0,05) и ЦОИ (r = -0,28; p < 0,05). И не обнаружил такой связи с показателями ПЗМР (r = 0,18; p > 0,05), МК (r = 0,21; p > 0,05) и амплитудой N₂₀₀ (r = 0,23; p > 0,05). Количество ошибок при переработке информации подростками в режиме go/nogo/go положительно коррелировала с латентностями пика P₃₀₀ (r = 0,38; p < 0,05) и N₂₀₀ (r = 0,29; p < 0,05), а также временем PB2-3 (r = 0,37; p < 0,05), и ЦОИ (r = 0,41; p < 0,05) и отрицательно с амплитудой P₃₀₀ (r = -0,41; p < 0,05).

Такой характер взаимосвязи исследуемых показателей может свидетельствовать в пользу того, что повышение количества и качества переработанной информации у подростков и юношей происходит параллельно с повышением скорости сенсомоторных реакций (уменьшаются значения сложных реакций выбора, их сенсорных, моторных и центральных компонентов) с одновременным ростом амплитуды, а также уменьшением латентности и длительности волны P₃₀₀.

Такое обобщение может быть справедливым так как подтверждается исследованием реакции дифференцирования зрительных раздражителей у студентов и подростков. Нами выявлены различия в осуществлении сенсомоторных реакций в возрастных группах. Обнаружили, что наибольшее время для выполнения задания PB2-3 было у подростков 12-13 лет. В дальнейшем с возрастом наблюдалось постепенное повышение скорости сенсомоторного реагирования и уменьшение латентных периодов PB2-3 до минимальных значений у студентов. С высокой вероятностью можно считать, что такие изменения PB2-3 могут отразиться и на характеристиках СК, ЦОИ и МК. Было обнаружено постепенное уменьшение с возрастом не только латентных периодов PB2-3, но и показателей СК, ЦОИ и МК. Так, в период с 12-13 и до 18-20 лет показатель СК и МК улучшились на 12% и 13% (13-14мс; p>0,05), а ЦОИ на 30% (34,2 мс; p<0,05). Следовательно, повышение скорости переработки информации с возрастом и уменьшение времени реакции дифференцирования PB2-3 происходило за счет сокращения времени ЦОИ и в меньшей степени СК и МК.

Очевидно, что данные о постепенном улучшении с возрастом времени сложной зрительно-моторной реакции PB2-3, а также одновременное повышение скорости СК, ЦОИ и МК могут указывать на постепенное совершенствование как сенсорного и моторного компонента так и повышения скорости центральной обработки информации - ЦОИ. По нашему мнению - разницы во времени ЦОИ это следствие не только скорости обработки информации, а и результат возрастных морфо-функциональных превращений сложной интегративной деятельности мозга в условиях быстрой дискриминации ансамблей возбуждения, а также и отдельных мозговых операций [6]. В наших

исследованиях наличие различий РВ2-3 и ЦОИ в возрастных группах, свидетельствует в пользу того, что выполнение задания по переработке сложной сенсорной информации в режиме go/nogo/go происходит при условии участия сложной аналитико-синтетической деятельности высших отделов центральной нервной системы и соответствующим привлечением к структурно-функциональной организации мозговой деятельности [5]. Исследования ВП Р₃₀₀ у подростков и студентов подтверждают справедливость такого обобщения.

Нами установлено, что у подростков происходят заметные изменения в развитии прецентрального участка коры головного мозга. На это указывают и результаты нашего исследования Р₃₀₀ на целевые стимулы. У студентов 18-20 лет, по сравнению с группой 12-13 лет амплитуда Р₃₀₀ повысилась в большинстве отведений (максимально в Cz на 5,6 мкВ; $p < 0,05$). В обеих группах имело место четкое топографическое распределение амплитуд компонента Р₃₀₀ с наибольшими значениями в Cz. Увеличение амплитуды ВП может указывать на процессы связанные с привлечением большего количества нейронов и формированием памятных следов для сопоставления и оценки информации [3]. Привлечение большего количества нейронов может свидетельствовать в пользу локальной активности нейронов, которые непосредственно участвуют в анализе и оценке значимой информации [3, 6].

Латентность пика Р₃₀₀ уменьшилась во всех отведениях, что указывает на рост скорости нервных процессов у студентов. Значимыми были изменения во зоне Pz (на 110 мс; $p < 0,05$). Компонент Р₃₀₀ у подростков 12-13 лет длится дольше во всех областях, кроме париетальных. В случае N200 нет однозначных возрастных изменений амплитуды, латентности и длительности.

Следовательно, нейроонтогенез подросткового возраста характеризовался уменьшением латентности и длительности пика Р₃₀₀, а также повышением амплитуды в большинстве отведений, что было следствием общего развития и улучшения корковых процессов. Сокращения латентности Р₃₀₀ связывают с

улучшением переработки информации и модально-специфической рабочей памяти. Выявленное повышение амплитуды отмечается как улучшение процессов ориентирования и направленного внимания [10], а также может свидетельствовать о привлечении функциональных резервов путем активации дополнительных нейронных сетей [9], поскольку это является необходимым условием для переработки информации в режиме go/nogo/go.

Наличие корреляции и различий между показателями количества и качества переработки информации, значениями времени РВ2-3, СК, ЦОИ, МК, ПЗМР, а также амплитуды, латентности и длительности пиков N₂₀₀ и Р₃₀₀ в группах подростков и студентов может служить экспериментальным доказательством того, что эти показатели связаны между собой и имеют позитивную возрастную динамику на всех уровнях функциональной организации от сенсорного до моторного компонента и нервных сетях высших отделов головного мозга. По нашему мнению, это свидетельствует о высокой временной и пространственной синхронизации, когерентности и дискриминационной способности нескольких разных нейрональных сетей возбуждения, которые были активированы в операционной памяти во время переработки сложной информации [9, 13].

Таким образом, анализ количества и качества переработанной информации в режиме go/nogo/go, скорости РВ2-3, СК, ЦОИ, МК, ПЗМР, латентности, длительности и амплитуды волны Р₃₀₀ позволил выяснить возрастные морфо-функциональные особенности изменений времени восприятия сигнала, анализа, принятия решения, передачи его на эффектор, что обеспечивается сложной аналитико-синтетической деятельностью, специфическими механизмами, возникновением и прекращением нервных процессов, перемещения по нервным сетям коры головного мозга, а также возникновением возбуждения в рецепторе, сокращения/расслабления мышечных групп, которые осуществляют двигательный акт. Все это указывает на перестройку как центральных так и периферических механизмов функциональной организации переработки информации в нейроонтогенезе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алёшина Е.Д., Коберская Н.Н., Дамулин И.В. Когнитивный вызванный потенциал Р₃₀₀: методика, опыт применения, клиническое значение // Журнал неврологии и психиатрии. - 2009. - №8. - С. 77-84.
2. Гнездицкий В.В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике / В.В. Гнездицкий. - М.: МЕД-пресс-информ, 2003. - 264 с.
3. Иваницкий А.М. Информационные процессы мозга и психическая деятельность / А.М. Иваницкий, Стрелец В.Б., Корсаков И.А. - М.: Наука, 1984. - 200 с.
4. Иваницкий А.М. Мозговые механизмы оценки сигналов / А. М. Иваницкий. - М.: Медицина, 1976. - 298с.
5. Макаренко М.В. Онтогенез психофізіологічних функцій людини / М.В. Макаренко, В.С. Лизогуб. - Черкаси, Вертикаль, 2011. - 256 с.
6. Павленко В. Б., Луцюк Н. В., Борисова М. В. Связь характеристик вызванных ЭЭГ - потенциалов с индивидуальными особенностями внимания у детей // Нейрофизиология. - 2004. - Т. 36, № 4. - С. 313-321.
7. Русалова М.Н. Функциональная асимметрия мозга и эмоция // Успехи физиол. наук. - 2003. - Т.34, № 4. - С. 93-112.
8. Симонов П.В., Русалова М.Н., Преображенская Л.А. Факторы новизны и асимметрия мозга // Журнал ВНД. - 1995. - Т.45, Вып.1. - С. 12-18.
9. A simultaneous ERP/MRI investigation of the P₃₀₀ aging effect / O'Connell R., Balsters J., Kilcullen S. [et al.] // Neurobiology of Aging. - 2012. - Vol.33, № 10. - P. 2448-2461.
10. Event-related potentials in clinical research: Guidelines for eliciting, recording, and quantifying mismatch negativity, P₃₀₀, and N₄₀₀ / Duncan C., Barry R., Connolly J. [et al.] // Clinical Neurophysiology. - 2009. - Vol.120, № 11. - P. 1883-1908.
11. Goodin D.S., Aminoff M.J. Electrophysiological differences between demented and nondemented patients with Parkinson's disease // Ann. Neurol. - 1987, №21. - С. 90-94.
12. Klimesch W. EEG alpha oscillations: The inhibition-timing hypothesis / Klimesch W., Sauseng P., Hanslmayr S. // Brain Research Reviews. - 2007. - Vol. 53 (1). - P. 63-88.
13. Klinge C. Increased amygdala activation to emotional audi-

tory stimuli in the blind / C. Klinge, B. Röder, Ch. Büchel // Brain. - 2010. - Vol. 133 (Pt 6). - P. 1729-1736.

14. The Oxford Handbook of Event-Related Potential Compo-

nents / Edited by S.J. Luck, E.S. Kappenman. - Oxford University Press, 2012. - 641 p.

REFERENCES

1. Alyoshina E.D., Koberskaya N.N., Damulin I.V. Kognitivnyiy vyizvannyiy potentsial R300: metodika, opyt primeneniya, klinicheskoe znachenie // Zhurnal nevrologii i psikiatrii. - 2009. - #8. - S. 77-84.
2. Gnezditskiy V. V. Vyizvannyye potentsialy mozga v klinicheskoy praktike / V.V. Gnezditskiy. - M.: MED-presse-inform, 2003. - 264 s.
3. Ivanitskiy A.M. Informatsionnyie protsessy mozga i psicheskaya deyatelnost / A.M. Ivanitskiy, Strelets V.B., Korsakov I.A. - M.: Nauka, 1984. - 200 s.
4. Ivanitskiy A.M. Mozgovyye mehanizmy otsenki signalov / A. M. Ivanitskiy. - M.: Meditsina, 1976. - 298s.
5. Makarenko M.V. Ontogenez psihofiziologicheskikh funktsiy lyudini / M.V. Makarenko, V.S. Lizogub. - Cherkasi, Vertikal, 2011. - 256 s.
6. Pavlenko V. B., Lutsyuk N. V., Borisova M. V. Svyaz harakteristik vyizvannyih EEG - potentsialov s individualnyimi osobennostyami vnimaniya u detey // Neyrofiziologiya. - 2004. - T. 36, # 4. - S. 313-321.
7. Rusalova M.N. Funktsionalnaya asimmetriya mozga i emotsii // Uspehi fiziol. nauk. - 2003. - T.34, # 4. - S. 93-112.
8. Simonov P.V., Rusalova M.N., Preobrazhenskaya L.A. Faktory novizny i asimmetriya mozga // Zhurnal VND. - 1995. - T.45, Vyip.1. - S. 12-18.
9. A simultaneous ERP/MRI investigation of the P₃₀₀ aging effect / O'Connell R., Balsters J., Kilcullen S. [et al.] // Neurobiology of Aging. - 2012. - Vol.33, № 10. - P. 2448-2461.
10. Event-related potentials in clinical research: Guidelines for eliciting, recording, and quantifying mismatch negativity, P₃₀₀, and N₄₀₀ / Duncan C., Barry R., Connolly J. [et al.] // Clinical Neurophysiology. - 2009. - Vol.120, № 11. - P. 1883-1908.
11. Goodin D.S., Aminoff M.J. Electrophysiological differences between demented and nondemented patients with Parkinson's disease // Ann. Neurol. - 1987, №21. - C. 90-94.
12. Klimesch W. EEG alpha oscillations: The inhibition-timing hypothesis / Klimesch W., Sauseng P., Hanslmayr S. // Brain Research Reviews. - 2007. - Vol. 53 (1). - P. 63-88.
13. Klinge C. Increased amygdala activation to emotional auditory stimuli in the blind / C. Klinge, B. Röder, Ch. Büchel // Brain. - 2010. - Vol. 133 (Pt 6). - P. 1729-1736.
14. The Oxford Handbook of Event-Related Potential Components / Edited by S.J. Luck, E.S. Kappenman. - Oxford University Press, 2012. - 641 p.

Functional organization of brain mechanisms of information processing depending from age

V. S. Lizohub, N. P. Chernenko, V. A. Pustovalov, T. V. Kozhemyako, A. A. Palabiyik, S. N. Khomenko

Abstract. On teenagers 12-13 years old and students 18-20 years old researched the quantity and quality of the processed information in the mode go/no go/go, amplitude and latency P₃₀₀ the speed of simple and complex of reactions choosing two from the three stimuli (RC2-3) and also the time of the motor (MC), sensor components (SC) and central information processing (CIP). It was found that in teenagers 12-13 years old the quantity and quality characteristics of the processed information, speed of RC2-3, MC, SC and CIP gradually rising and to reach a maximum in 18-20 years old. In this period of neurothogenesis marked gradual reorganization of brain activity which was accompanied by decreasing latency and increasing amplitude P₃₀₀ in the frontal-central and parietal portions of the cortex. Thus, with increasing quantitative and qualitative characteristics of the processed information occurs gradual restructuring of the central brain and peripheral mechanisms (sensory and motor components) functional organization of the nervous system in ontogenesis.

Keywords: information processing, the speed of differentiation of visual stimuli, sensor, motor and central components of reaction, amplitude and latency P₃₀₀, age dynamics.