

Г.Е. Хомич¹, Н.К. Саваневский²

¹канд. биол. наук, доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

²канд. биол. наук, доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕННОГО ВНИМАНИЯ НА АМПЛИТУДНО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТОПОГРАФИЮ УСЛОВНОЙ НЕГАТИВНОЙ ВОЛНЫ И ПОЗДНЕГО ПОЗИТИВНОГО КОМПЛЕКСА

В статье представлены результаты исследования распределения фокуса максимальной выраженности амплитудно-временных характеристик условной негативной волны и позднего позитивного комплекса по областям коры больших полушарий у детей и взрослых.

Введение

Поступающая в мозг человека информация воспринимается более эффективно только в случае привлечения к ней активного внимания, благодаря которому осуществляется качественный отбор и анализ воспринимаемых сигналов. Для исследования внимания широко используются электрофизиологические методы и, в частности, метод вызванных потенциалов. Возрастные особенности параметров слуховых вызванных потенциалов (СВП) при разном напряжении внимания способствуют углублению понимания механизмов организации этой психофизиологической функции и позволяют представить ее как динамический процесс, постепенно совершенствующийся в онтогенезе.

Данные литературы показывают, что структурно-функциональная организация воспринимающих систем формируется начиная с пренатального периода вплоть до юношеского возраста. Различным этапам созревания воспринимающих систем соответствуют определенные возрастные особенности восприятия, проявляющиеся в выраженности пространственных и временных характеристик электрофизиологических проявлений функционирования коры больших полушарий головного мозга, в том числе и слуховых вызванных потенциалов [1–3].

СВП представляют собой последовательность негативных и позитивных волн, возникающих после подачи стимула. Направленное внимание в период ожидания сигнала, его восприятия и анализа сопровождается возникновением, а также изменением характеристик таких составных элементов СВП, как условная негативная волна (УНВ), негативные волны N_{200} и N_{500} , позитивная волна P_{300} и поздний позитивный комплекс [2–4]. Исследование возрастных особенностей направленного внимания является актуальной задачей в теоретическом и практическом плане, т.к. способствует поискам методов эффективного влияния на процесс восприятия слуховой информации, что имеет большое значение для повышения эффективности обучения и воспитания детей и подростков.

Установлено, что направленное внимание во время поступления и анализа информации сопровождается генерацией и изменением амплитудно-временных характеристик негативностей N_{200} и N_{500} , позитивности P_{300} и позднего позитивного комплекса (ППК), регистрируемых электроэнцефалографическим методом с разных областей коры больших полушарий [1–3]. Показано, что эти изменения неодинаково проявляются в условиях внимания и невнимания, а также имеют возрастные особенности, обусловленные постепенным и гетерохронным созреванием различных областей коры головного мозга в онтогенезе [3–6].

Недостаточно изученными в возрастном аспекте пока остаются электроэнцефалографические корреляты внимания, вызываемые поступлением слуховых сигналов,

а также локализация фокуса максимальной выраженности амплитудно-временных характеристик УНВ и ППК в различных областях коры больших полушарий, что и явилось целью нашего исследования.

Объект и методика исследований

В работе исследовались амплитудно-временные параметры компонентов слуховых вызванных потенциалов у детей и взрослых на стимулы, требующие разной степени привлечения внимания. Исследование выполнено на базе лаборатории нейро- и психофизиологии НИИ физиологии детей и подростков Российской Академии образования.

Эксперимент проведен на испытуемых трех возрастных групп. Первую группу составили 15 школьников 7–8 лет, вторую – 15 учащихся в возрасте 9–10 лет, в третью группу вошли 15 взрослых людей 20–40 лет. Все обследуемые относились к 1-й и 2-й группам здоровья, имели нормальную остроту слуха. В экспериментальные группы подбирались только праворукие испытуемые с высоким коэффициентом правшества.

Во время обследования испытуемый находился в затемненной звукоизолированной камере в положении сидя, с закрытыми глазами. В эксперименте использовалась парадигма, включающая две пары звуковых стимулов, предъявлявшихся в случайном порядке. Интервал между стимулами в паре составлял 1,0 с. Одна пара стимулов C_1 – C_2 состояла из двух одинаковых звуковых тонов низкой частоты (400 Гц), была легко отличима от второй пары и не вызывала напряжения внимания испытуемого. Вторая пара включала в себя высокочастотный (1250 Гц) стимул C_3 и такой же по частоте стимул C_4 , но громче настолько, чтобы для его различения требовалось напряжение внимания.

Слуховые вызванные потенциалы регистрировались монополярно. Активные хлорсеребряные неполяризующиеся электроды располагались симметрично над поверхностью правого и левого полушарий в затылочных, теменных, центральных и лобных областях. Локализация всех отведений определялась по стандартной системе «10–20». В качестве индифферентного использовался объединенный ушной электрод, заземляющим служил электрод, расположенный на запястье левой руки. Звуковые сигналы поступали от ЭВМ ДЗ–28 через аналого-цифровой преобразователь к звуковому генератору, от которого звуковые тоны подавались испытуемому через динамик.

Биоэлектрические потенциалы поступали через усилитель на коммутатор, затем в аналого-цифровой преобразователь и в ЭВМ ДЗ–28 с дальнейшим выводом на самописец. За изолинию принимали средний уровень активности за 300 мс перед стимулом. Предъявление звукового сигнала, усреднение и первичная обработка полученных данных производились на ЭВМ ДЗ–28 по специально разработанной программе. Достоверность различий амплитудных и временных характеристик СВП оценивали по t-критерию Стьюдента.

Результаты исследований и их обсуждение

Распределение фокуса максимальной выраженности амплитуды, пиковой латентности и длительности УНВ у детей и взрослых в ожидании стимулов C_2 и C_4 , различающихся по степени привлечения внимания, представлено в таблицах 1, 2 и показано на рисунке 1.

Как видно на рисунке 1, у детей 7–8 лет амплитуда УНВ регистрировалась выше всего в лобной области независимо от того, какой стимул ожидал испытуемый.

Из данных, приведенных в таблицах 1 и 2, следует, что ни в одной из исследуемых областей коры больших полушарий, за исключением затылочной; в этой группе детей не обнаруживалось достоверных различий при сравнении амплитуд УНВ в межстимульных интервалах C_1 – C_2 и C_3 – C_4 . В затылочном отделе коры негативность регистрировалась в ожидании стимула C_2 и отсутствовала в ожидании C_4 .

Таблица 1. – Амплитудно-временные показатели УНВ в сагиттальных отведениях затылочной (О), теменной (Р), центральной (С) и лобной (F) областей коры в межстимульном интервале С₁–С₂ у лиц разного возраста ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)

Показатель	Возраст, лет	Область коры больших полушарий			
		О	Р	С	F
Амплитуда, мкВ	7–8	2,8 ± 0,2	4,8 ± 0,6	5,9 ± 0,8	10,6 ± 1,0
	9–10	–	1,6 ± 0,2	10,8 ± 1,0	18,2 ± 1,3
	20–40	–	3,0 ± 0,3	7,6 ± 0,7	6,6 ± 0,8
	P ₂₋₁		<0,001	<0,001	<0,001
	P ₃₋₁		<0,05		<0,01
	P ₃₋₂		<0,001	<0,05	<0,001
Пиковая латентность, мс	7–8	893,5 ± 28,8	902,5 ± 25,1	811,5 ± 21,6	801,5 ± 22,9
	9–10	–	990,0 ± 28,3	626,5 ± 28,5	725,0 ± 38,3
	20–40	–	986,4 ± 27,8	988,8 ± 34,1	990,0 ± 34,6
	P ₂₋₁		<0,05	<0,001	<0,001
	P ₃₋₁		<0,05	<0,001	<0,001
	P ₃₋₂		–	<0,001	<0,001
Длительность, мс	7–8	250,2 ± 17,3	496,3 ± 29,4	691,2 ± 32,8	634,0 ± 35,6
	9–10	–	60,0 ± 21,5	664,3 ± 34,7	610,0 ± 32,9
	20–40	–	262,3 ± 28,1	300,0 ± 22,3	501,6 ± 28,4
	P ₂₋₁		<0,001	–	–
	P ₃₋₁		<0,001	<0,001	<0,01
	P ₃₋₂		<0,001	<0,001	<0,05

Примечание. – P₂₋₁ обозначает достоверность различий между показателями УНВ у 9–10-летних испытуемых и 7–8-летних; P₃₋₁ – между показателями у 20–40-летних и 7–8-летних; P₃₋₂ – между показателями у 20–40-летних испытуемых и 9–10-летних. Прочерк означает отсутствие достоверных различий или отсутствие показателя для сравнения.

В значениях пиковой латентности УНВ у 7–8-летних школьников прослеживалась зависимость от степени привлечения внимания к стимулу: в центральных и лобных областях в условиях ожидания наиболее привлекающего внимание стимула С₄ пиковая латентность волны достоверно увеличивалась по сравнению со значениями, отмечавшимися в межстимульном интервале С₁–С₂.

Сравнительный анализ длительности УНВ в ситуации ожидания стимулов, различающихся по степени привлечения внимания, показал, что продолжительность волны в теменной, центральной и лобной областях коры у 7–8-летних детей достоверно больше в межстимульном интервале С₁–С₂, чем в С₃–С₄.

Учитывая заданный инструкцией и парадигмой статус стимулов С₂ и С₄, этот факт можно считать еще одним нейрофизиологическим свидетельством тому, что у детей младшего возраста активация, связанная с ожиданием, захватывает более обширные области коры и продолжается более длительный срок, чем нервные процессы, составляющие основу направленного внимания.

Независимо от направленности внимания на стимул длительность УНВ увеличивалась в направлении от затылочных отделов коры к центральным и лобным.

В группе 9–10-летних школьников были выявлены следующие изменения амплитуды УНВ, связанные с напряжением внимания: в теменной и центральной областях наблюдалось достоверное увеличение амплитуды волны соответственно в 2,5 и 1,3 раза в межстимульном интервале С₃–С₄ по сравнению с регистрируемой УНВ в интервале С₁–С₂. В лобной области существенных различий амплитуды не наблюдалось.

Таблица 2. – Амплитудно-временные показатели УНВ в сагиттальных отведениях затылочной (О), теменной (Р), центральной (С) и лобной (F) областей коры в межстимульном интервале С₃–С₄ у лиц разного возраста ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)

Показатель	Возраст, лет	Области коры больших полушарий			
		О	Р	С	F
Амплитуда, мкВ	7–8	–	3,8 ± 0,4	7,0 ± 0,8	10,8 ± 1,3
	9–10	–	4,0 ± 0,4	14,0 ± 1,2	21,0 ± 2,9
	20–40	–	5,0 ± 0,6	16,0 ± 1,5	15,3 ± 1,4
	P ₂₋₁		–	<0,001	<0,01
	P ₃₋₁		–	<0,001	<0,05
	P ₃₋₂		–	–	–
Пиковая латентность, мс	7–8	–	940,2 ± 26,4	900,4 ± 31,2	980,5 ± 26,3
	9–10	–	925,3 ± 27,7	820,3 ± 30,3	815,1 ± 25,9
	20–40	–	980,2 ± 25,3	570,7 ± 26,1	560,6 ± 23,1
	P ₂₋₁		–	–	<0,001
	P ₃₋₁		–	<0,001	<0,001
	P ₃₋₂		–	<0,001	<0,001
Длительность, мс	7–8	–	203,5 ± 23,5	400,5 ± 26,9	540,2 ± 24,8
	9–10	–	220,3 ± 24,6	643,7 ± 37,3	670,4 ± 29,1
	20–40	–	520,1 ± 27,8	665,4 ± 35,8	685,0 ± 27,3
	P ₂₋₁		–	<0,001	<0,001
	P ₃₋₁		<0,001	<0,001	<0,001
	P ₃₋₂		<0,001	–	–

Примечание. – P₂₋₁ обозначает достоверность различий между показателями УНВ у 9–10-летних испытуемых и 7–8-летних; P₃₋₁ – между показателями у 20–40-летних и 7–8-летних; P₃₋₂ – между показателями у 20–40-летних испытуемых и 9–10-летних. Прочерк означает отсутствие достоверных различий или отсутствие показателя для сравнения.

Достоверные изменения пиковой латентности УНВ выявлены только в центральном отделе коры больших полушарий. При ожидании требующего напряжения внимания стимула С₄ регистрировалось увеличение этого показателя.

В отличие от 7–8-летних детей, у которых длительность УНВ была больше в межстимульном интервале С₁–С₂, у 9–10-летних школьников обнаружена тенденция к увеличению длительности негативности в условиях ожидания стимула С₄. В теменной области это увеличение было достоверным и превышало величину длительности УНВ в ожидании С₂ на 267,2 %.

Наиболее выраженная зависимость амплитудно-временных характеристик УНВ от степени привлечения внимания к стимулу обнаруживалась у взрослых испытуемых. Так, амплитуда негативности в условиях ожидания привлекающего внимание стимула С₄ была достоверно больше во всех исследуемых областях коры больших полушарий.

Фокус максимальной выраженности амплитуды волны находился в центральной области и не зависел от степени напряжения внимания.

В условиях напряженного внимания к стимулу наблюдалось значительное уменьшение пиковой латентности УНВ в центральном и фронтальном отделах коры.

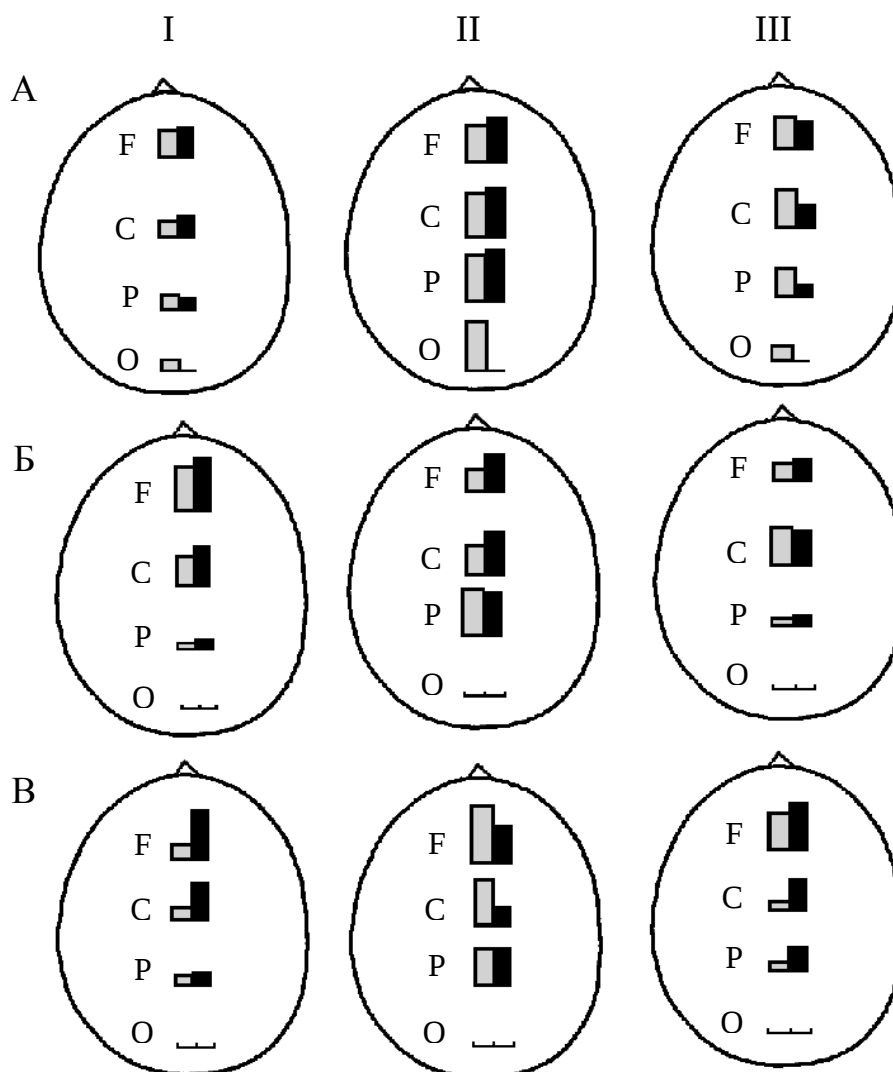


Рисунок 1. – Пространственное распределение амплитуды (I), пиковой латентности (II) и длительности (III) УНВ по сагиттальной линии коры больших полушарий у детей 7–8 лет (А), 9–10 лет (Б) и взрослых (В) при ожидании не требующего дифференцировки стимула C_2 (серые) и требующего дифференцировки стимула C_4 (черные столбики). О, Р, С, F – затылочная, теменная, центральная и лобная области коры соответственно.

Длительность УНВ на более привлекающий внимание стимул C_4 значительно увеличивалась по сравнению с регистрируемой в предвосхищении мало привлекающего внимание стимула C_2 . Следует отметить, что у взрослых испытуемых, так же как и у детей обеих возрастных групп, независимо от направленности внимания на стимул, фокус максимальной выраженности амплитуды и наибольшая длительность УНВ отмечались в центральной и лобной областях коры больших полушарий.

Кроме изучения пространственного распределения амплитудно-временных характеристик УНВ анализировалось распределение значений амплитуды, пиковой латентности и длительности ППК по коре больших полушарий у детей и взрослых в ответах на стимулы, в разной степени привлекающие внимание. Результаты данного анали-

за представлены графически в виде диаграммы на рисунке 2, а численные значения амплитудно-временных параметров ППК приведены в таблицах 3 и 4.

Было установлено, что в ответах на стимул С₂ ППК не обнаруживался у детей 7–8 и 9–10 лет, а регистрировался в СВП только у взрослых испытуемых. Распределение фокуса максимальной активности ППК у них было следующим: наиболее низкие амплитуда и длительность позитивности наблюдались в затылочной и теменной областях. В центральной области коры эти показатели повышались и становились достоверно больше, чем в затылочной и теменной областях (таблица 3).

Таблица 3. – Амплитудно-временные показатели ППК у взрослых испытуемых в сагиттальных отведениях затылочной (О), теменной (Р), центральной (С) и лобной (F) областей коры в СВП на стимул С₂ ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)

Показатель	Области коры больших полушарий			
	О	Р	С	F
Амплитуда, мкВ	3,3 ± 0,5	4,1 ± 0,6	9,4 ± 1,2	16,2 ± 1,6
Пиковая латентность, мс	847,6 ± 26,2	835,2 ± 29,2	864,1 ± 28,5	830,2 ± 27,0
Длительность, мс	450,0 ± 33,4	413,6 ± 30,7	513,7 ± 27,3	611,7 ± 25,9

На рисунке 2 видно, что у детей 7–8 и 9–10 лет в СВП на мало привлекающий внимание стимул С₂ ППК не выявлялся ни в одной из исследуемых областей коры.

Таблица 4. – Амплитудно-временные показатели ППК в сагиттальных отведениях затылочной (О), теменной (Р), центральной (С) и лобной (F) областей коры в СВП на стимул С₄ у лиц разного возраста ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)

Показатель	Возраст, лет	Области коры больших полушарий			
		О	Р	С	F
Амплитуда, мкВ	7–8	4,6 ± 0,4	5,3 ± 0,6	3,6 ± 0,5	3,3 ± 0,6
	9–10	9,8 ± 0,8	12,6 ± 1,1	7,6 ± 0,8	3,7 ± 0,4
	20–40	7,3 ± 0,6	10,6 ± 1,0	15,3 ± 1,3	19,3 ± 2,1
	P ₂₋₁	<0,001	<0,001	<0,001	–
	P ₃₋₁	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	P ₃₋₂	<0,05	–	<0,001	<0,001
Пиковая латентность, мс	7–8	690,2 ± 21,4	620,1 ± 22,4	970,5 ± 25,9	880,8 ± 22,6
	9–10	560,8 ± 24,0	590,5 ± 27,6	770,0 ± 25,2	920,0 ± 28,6
	20–40	470,2 ± 21,1	475,4 ± 20,0	860,4 ± 28,3	850,1 ± 27,5
	P ₂₋₁	<0,001	–	<0,001	–
	P ₃₋₁	<0,001	<0,001	<0,01	–
	P ₃₋₂	<0,01	<0,01	<0,05	–
Длительность, мс	7–8	520,6 ± 25,5	510,2 ± 25,0	400,8 ± 24,9	320,5 ± 27,6
	9–10	850,3 ± 32,6	750,6 ± 24,0	400,7 ± 28,3	150,9 ± 16,6
	20–40	800,0 ± 36,0	800,1 ± 37,7	725,4 ± 27,7	500,3 ± 25,7
	P ₂₋₁	<0,001	<0,001	–	<0,001
	P ₃₋₁	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	P ₃₋₂	–	–	<0,001	<0,001

Примечание. – P₂₋₁ обозначает достоверность различий между показателями УНВ у 9–10-летних испытуемых и 7–8-летних; P₃₋₁ – между показателями у 20–40-летних и 7–8-летних; P₃₋₂ – между показателями у 20–40-летних испытуемых и 9–10-летних. Прочерк означает отсутствие достоверных различий или отсутствие показателя для сравнения.

В ответах на требующий напряжения внимания стимул C_4 амплитуда и длительность ППК у детей обеих возрастных групп были более выражены в затылочных и теменных отделах коры, а пиковая латентность комплекса в этих областях была, наоборот, меньше, чем в передних отделах коры (таблица 4, рисунок 2).

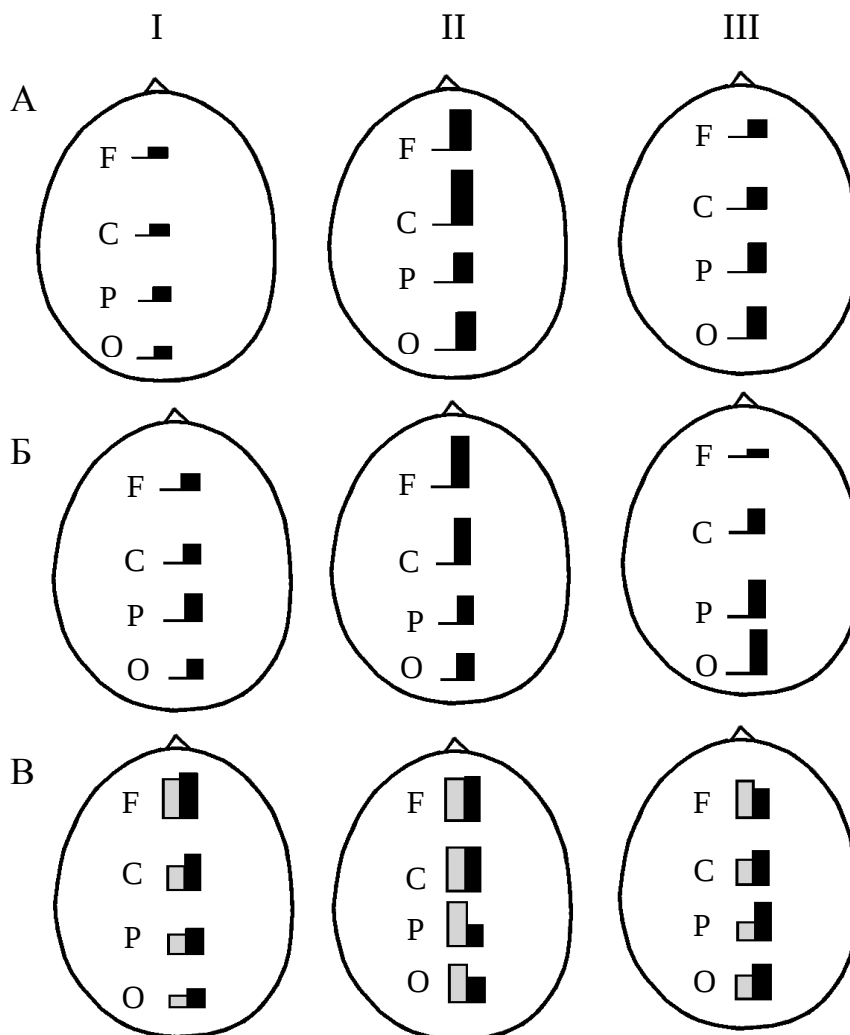


Рисунок 2. – Пространственное распределение амплитуды (I), пиковой латентности (II) и длительности (III) ППК по сагиттальной линии коры больших полушарий у детей 7–8 лет (А), детей 9–10 лет (Б) и взрослых (В) при ожидании не требующего дифференцировки стимула C_2 (серые) и требующего дифференцировки стимула C_4 (черные столбики). О, Р, С, F – затылочная, теменная, центральная и лобная области коры соответственно.

У взрослых испытуемых (рисунок 2, В) ППК регистрировался во всех исследуемых областях коры в ответах на стимулы C_2 и C_4 . При этом амплитудно-временные параметры комплекса в СВП на стимул, требующий большого напряжения внимания, значительно отличались от наблюдавшихся на мало привлекающий внимание стимул C_2 . Было обнаружено, что амплитуда ППК в затылочной, теменной и центральной областях в ответах на привлекающий в большей степени внимание стимул C_4 значительно больше, чем в СВП на стимул C_2 . В лобной области амплитуда ППК была максимальной на оба стимула.

Значения пиковой латентности ППК у взрослых испытуемых были достоверно меньше в затылочной и теменной областях на стимул C_4 по сравнению с таковым

на стимул C_2 . В ответах на стимул C_2 пиковая латентность ППК существенно не различалась в разных областях коры, а в СВП на стимул C_4 этот показатель был достоверно выше в центральных и лобных отделах коры больших полушарий.

Длительность ППК в затылочном, теменном и центральном отделах коры была больше, а в лобной области меньше в ответах на требующий напряжения внимания и оценки сигнал C_4 , чем в ответах на C_2 .

Заключение

1. Предстимульное внимание у детей младшего школьного возраста (в отличие от взрослых) характеризуется хорошо выраженной ориентировочной реакцией на незначимые слуховые стимулы и недостаточно развитой способностью к удержанию внимания, что проявляется в амплитудно-временных характеристиках условной негативной волны.

2. Незрелость механизмов предстимульного внимания у детей существенно сказывается на последующем анализе слуховой информации, что проявляется в меньшей значимости ситуации ожидания для заключительных этапов оценки информации и принятия решения. Свидетельством тому является меньшая, чем у взрослых, выраженность позднего позитивного комплекса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Näätänen, R. Attention and brain function / R. Näätänen. – New Jersey : Erlbaum Associates, 1992. – 192 p.
2. Николлс, Дж. Т. От нейрона к мозгу / Дж. Т. Николлс, А. Р. Мартин, Б. Дж. Валлас. – М., 2003. – 672 с.
3. Савченко, Е. И. Онтогенетические особенности развития медленных негативных и позитивных потенциалов при выполнении зрительной перцептивной задачи / Е. И. Савченко, Д. А. Фарбер // Журн. высш. нервной деятельности. – 1990. – Т. 40, № 1. – С. 29–36.
4. Бетелева, Т. Г. Возрастные особенности соотношения непроизвольного и произвольного анализа при опознании изображений / Т. Г. Бетелева // Журн. высш. нервной деятельности. – 1992. – Т. 42, № 1. – С. 3–11.
5. Tervaniemi, M. Pre-attentive processing of complex auditory information in the human brain / M. Tervaniemi. – Helsinki, 1997. – 436 p.
6. Хомич, Г. Е. Возрастные изменения слуховых вызванных потенциалов на стимул, требующий различения и сопровождающийся двигательной реакцией / Г. Е. Хомич, Н. К. Саваневский // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2012. – № 2. – С. 48–53.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 18.02.2016

Savaneuski M.K., Khomich H.E. Effect of Goal-directed Attention on Some Time and Amplitude Characteristics and Topography of Contingent Negative Variation and Later Positive Complex

The article deals with the focus distribution analysis of some time and amplitude characteristics of contingent negative variation and late positive complex registered in different cortical areas by children and adults.