

УДК 612.014

Г.Е. Хомич, Н.К. Саваневский

ОСОБЕННОСТИ УСЛОВНОЙ НЕГАТИВНОЙ ВОЛНЫ И ПОЗДНЕГО ПОЗИТИВНОГО КОМПЛЕКСА У ДЕТЕЙ И ВЗРОСЛЫХ ПРИ ПРЕДЪЯВЛЕНИИ ПАРЫ СТИМУЛОВ, НЕ ТРЕБУЮЩИХ РАЗЛИЧЕНИЯ

Представлены результаты исследования слуховых вызванных потенциалов у людей разного возраста. Обнаружены возрастные изменения в параметрах УНВ и ППК на звуковые стимулы, не требующие различения.

Введение

Особое место среди электрофизиологических показателей, тесно связанных с психическими процессами, принадлежит открытому В. Уолтером [1] феномену, который был назван «волной ожидания», или Е-волной, или «условной негативной волной» (УНВ). УНВ возникает в межстимульном интервале постоянной длительности и тесно связана с такими психическими процессами, как ожидание, мотивация, волевое намерение, внимание [2, 3].

Отличительная особенность УНВ состоит в том, что она возникает не в ответ на внешний стимул, а в связи с ожиданием стимула или реакции. То есть она отражает активность тех мозговых структур, которые задействованы в период подготовки к предстоящему ответу и, следовательно, связаны с обеспечением перцептивной готовности испытуемого. Отражая подготовительные процессы к моменту принятия решения, определяемого императивным стимулом, УНВ представляет собой негативное колебание потенциала, приуроченное к императивному стимулу и им устраняемое. Это колебание характеризуется восходящей фазой, фазой плато и нисходящей фазой. Фаза плато в некоторых случаях может отсутствовать.

Вопросы топографии УНВ привлекают широкое внимание исследователей. Согласно многочисленным данным, в классической экспериментальной ситуации УНВ максимальна в вертексе и уменьшается в переднезаднем и латеральном направлениях. Топография УНВ зависит от возраста испытуемого. Как показали исследования [4], УНВ на зрительные стимулы у детей 7–10-летнего возраста наиболее выражена в теменных и затылочных областях, а в 16–17 лет максимум ее смещается в лобные отделы коры. Установлено, что при умственном ответе пик распределения УНВ регистрируется в лобной области, введение моторного ответа смещает максимум в сторону центральной области, а при письменном ответе наблюдается более выраженная УНВ на стороне, контрлатеральной задействованной руке.

Функциональная активность мозга в период, непосредственно предшествующий поступлению раздражителя, не может не сказываться на процессах его восприятия, обработки и принятия решения. Обнаружена связь УНВ с поздним позитивным комплексом (ППК), имеющим отношение к конечным этапам обработки информации [5].

Однако особенности формирования УНВ и ППК в онтогенезе на стимулы разной модальности изучены пока недостаточно. Анализ возрастных особенностей параметров УНВ и ППК, в которых отражены процессы предстимульного и постстимульного внимания, позволит оценить нейрофизиологические механизмы развития данной психофизиологической функции в онтогенезе. Целью нашей работы явилось исследование вы-

раженности УНВ и ППК у детей и взрослых испытуемых на слуховые стимулы, различающиеся по степени привлечения внимания.

Объект и методика исследований

В настоящей работе исследовались амплитудно-временные параметры компонентов слуховых вызванных потенциалов (СВП) 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 и 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 с закрытыми глазами находился в затемненной звукоизолированной камере в положении сидя. В эксперименте использовалась парадигма, состоящая из пары звуковых сигналов (C_1 – C_2) частотой 400 Гц и продолжительностью 100 мс каждый. Интервал между стимулами в паре составлял 1,0 с.

Слуховые вызванные потенциалы регистрировались монополярно. Активные хлорсеребряные неполяризуемые 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

Анализ УНВ в постоянном межстимульном интервале C_1 – C_2 и ППК в ответах на стимул C_2 проводился нами в СВП, регистрировавшихся в сагиттальных отведениях затылочной (О), теменной (Р), центральной (С) и лобной (F) областей коры больших полушарий. В ситуации ожидания стимула C_2 , не требующего дифференцировки, отмечены характерные особенности в представленности и выраженности УНВ и ППК на разных этапах онтогенеза. Обращает на себя внимание тот факт, что форма условной негативной волны и ее топография по коре неодинакова в разных возрастных группах. В затылочной области она регистрируется только у 7–8-летних детей и отсутствует в группе 9–10-летних детей и взрослых. В теменной же области, как и в центральной и лобной, данная негативная волна у взрослых нарастает только к моменту предъявления стимула C_2 , у детей это происходит намного раньше (за 500–700 мс), а к моменту предъявления сигнала амплитуда УНВ снижается.

В таблице 1 представлены показатели амплитуды, пиковой латентности и длительности УНВ в указанных отведениях, а на рисунке показаны усредненные на группу СВП, зарегистрированные в данной экспериментальной ситуации и усредненные по

возрастными группами. Результаты свидетельствуют о том, что амплитуда УНВ у детей и взрослых, измеренная по пиковым значениям, была разной в различных отведениях.

Таблица 1 – Амплитудно-временные показатели УНВ в сагиттальных отведениях затылочной (О), теменной (Р), центральной (С) и лобной (F) области коры в межстимульном интервале С₁–С₂ 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 | 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 ± 23,5 | 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 | – |
| | 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 |

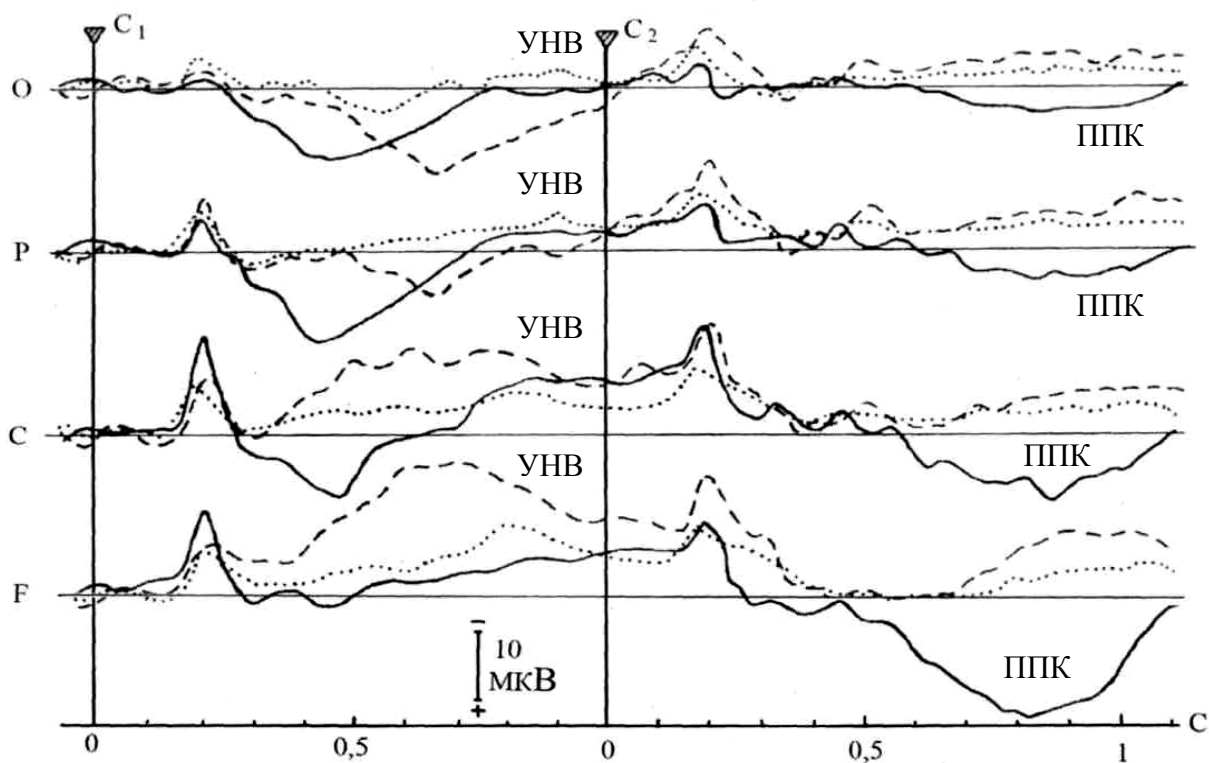
Примечание – P₂₋₁ обозначает достоверность различий между показателями УНВ у 9–10-летних испытуемых и 7–8-летних, P₃₋₁ – между показателями у 20–40-летних и 7–8-летних, P₃₋₂ – между показателями у 20–40-летних испытуемых и 9–10-летних. Прочерк означает отсутствие достоверных различий или отсутствие показателя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

В затылочной области коры больших полушарий возрастная динамика УНВ не может быть прослежена, так как в более старшем возрасте у детей и у взрослых испытуемых в данной области УНВ не регистрировалась. В теменной области величина амплитуды УНВ была наибольшей у 7–8-летних детей и наименьшей у детей 9–10 лет. В центральной области коры наблюдалась следующая картина: амплитуда УНВ была больше всего в ответах 9–10-летних школьников и значительно ниже у 7–8-летних детей и взрослых испытуемых. В лобной области коры больших полушарий амплитуда УНВ была также выше у детей 9–10 лет, достоверно ниже у 7–8-летних детей и самая низкая волна регистрировалась у взрослых испытуемых.

Сравнение выраженности УНВ по отведениям показало, что у обеих групп детей в межстимульном интервале С₁–С₂ в ожидании мало привлекающего внимание стимула С₂ наблюдается постепенное достоверное возрастание амплитуды УНВ по направлению от затылочных отделов коры к центральным и лобным. Так, в группе 7–8-летних детей в теменной области по сравнению с затылочной, амплитуда УНВ была выше на 71,4%, в центральной – на 110,7%, в лобной области – на 278,6%. Несколько иная картина наблюдалась в группе 9–10-летних школьников, у которых в затылочной области УНВ вообще не регистрировалась, а в центральной и лобной областях была больше, чем в теменной, соответственно в 6,8 и в 11,4 раза.

Гораздо меньшая, чем у детей, выраженность УНВ в межстимульном интервале C_1 – C_2 наблюдалась у взрослых испытуемых. По-другому у них распределялся по коре больших полушарий и фокус максимальной активности УНВ. Как видно из таблицы 1, в затылочной области у взрослых УНВ отсутствовала, а в теменном отделе амплитуда волны была самой низкой. В центральной области она возрастала по сравнению с теменной в 2,5 раза и достигала максимума. Во фронтальной области амплитуда УНВ была ниже, чем в центральной, но выше, чем в теменной области, в 2,2 раза.

Анализ пиковой латентности УНВ дал следующие результаты. В теменной области коры пиковая латентность увеличивалась с возрастом испытуемых (таблица 1), причем это увеличение происходило в период с 7–8 до 9–10 лет, что объясняется более четким приурочиванием УНВ к моменту предъявления второго стимула в паре. Так, пиковая латентность УНВ по сравнению с 7–8-летними детьми была больше у 9–10-летних школьников в теменной области на 9,6%. Различия между взрослыми и старшей группой детей были недостоверными.



По оси абсцисс – время; вертикальные линии – отметки предъявления стимулов

Рисунок – Усредненные СВП в группе 7–8-летних (точечная линия), 9–10-летних (пунктирная линия) и взрослых (сплошная линия) испытуемых на предъявление стимулов C_1 – C_2 . О – затылочная, Р – теменная, С – центральная, F – лобная области коры

В центральной и лобной областях коры наблюдались следующие возрастные изменения: в 9–10-летнем возрасте по сравнению с 7–8-летним у испытуемых обнаружилось в центральной области уменьшение анализируемого показателя на 22,8%, а во фронтальной области – отсутствие достоверных изменений. Затем с возрастом пиковая латентность УНВ увеличивалась, и у взрослых ее значения были достоверно больше,

чем у 7–8-летних и 9–10-летних детей: в центральной области коры соответственно на 21,8% и 57,8%, во фронтальной области – на 23,5% и 36,5%.

Сравнение пиковой латентности УНВ по отведениям выявило у 7–8-летних детей достоверное превышение ее значений в затылочной и теменной областях, а у 9–10-летних школьников в теменной области по отношению к центральной и лобной. В группе взрослых испытуемых не обнаруживалось достоверных различий пиковой латентности между отведениями, так как во всех областях УНВ была четко приурочена к моменту предъявления второго стимула в паре.

Анализ длительности УНВ показал следующее. В теменной области регистрировалась достоверная редукция длительности УНВ у детей 9–10 лет по сравнению с 7–8-летними. У взрослых продолжительность волны увеличивалась по отношению к старшей группе детей, но, тем не менее, оставалась в 1,9 раза меньше, чем у младших школьников. Однотипные возрастные изменения длительности УНВ были выявлены в центральной и лобной областях коры. В них изменения исследуемого показателя у детей 9–10 лет по сравнению с 7–8-летними оказались недостоверными, а в более старшем возрасте происходило существенное уменьшение продолжительности УНВ и дефинитивные значения были достоверно меньше, чем у обеих групп школьников.

Распределение длительности УНВ в каждой из возрастных групп по областям коры оказалось следующим: у 7–8-летних детей продолжительность волны была наименьшей в затылочной области, в теменной области этот показатель был достоверно больше, чем в затылочной, а в центральной еще больше увеличивался и достигал максимума. У 9–10-летних детей минимальная длительность УНВ наблюдалась в теменном отделе. Различия между значениями длительности УНВ в центральной и фронтальной областях у обеих групп школьников были недостоверными. В группе взрослых испытуемых отмечалось увеличение длительности УНВ по направлению от теменной области к фронтальной, где она достигала максимума, превышая значения в париетальной области в 1,9 раза.

Специфические результаты были получены при исследовании параметров позднего позитивного комплекса, который выявлялся у взрослых испытуемых в ответ на стимул С₂ при выполнении задачи сравнения пары стимулов. Установлено, что в ответ на второй стимул в паре ППК не обнаруживался у детей 7–8 и 9–10 лет, а регистрировался в СВП только у взрослых испытуемых (рисунок). Распределение фокуса максимальной активности дефинитивного ППК было следующим: наиболее низкие амплитуда и длительность этой позитивности наблюдались в затылочной и теменной областях (таблица 2). В центральной области коры данные показатели повышались и становились достоверно больше, чем в затылочной и теменной областях.

Таблица 2 – Амплитудно-временные показатели ППК у взрослых испытуемых в сагиттальных отведениях затылочной (О), теменной (Р), центральной (С) и лобной (F) области 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 |

Наиболее высокие значения амплитуды и длительности ППК выявлялись в лобной области. Здесь амплитуда этой позитивности была больше, чем в затылочной области, в 4, 9 раза ($p < 0,001$), а длительность – больше в 1,4 раза ($p < 0,01$). Что же каса-

ется значений пиковой латентности ППК, то их различия в исследуемых областях коры больших полушарий были недостоверными ($p > 0,05$).

Заклучение

Анализ УНВ, регистрируемой в период ожидания стимула, свидетельствует о том, что предстимульное внимание у детей младшего школьного возраста в отличие от взрослых характеризуется хорошо выраженной ориентировочной реакцией на незначимые слуховые стимулы. Также у них недостаточно развита способность к удержанию внимания, что проявляется в амплитудно-временных характеристиках и форме условной негативной волны, спад которой отмечается до начала императивного, требующего ответной двигательной реакции стимула.

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 чему является отсутствие в отличие от взрослых позднего позитивного комплекса, а также уменьшение выраженности позитивной волны P_{300} , что было установлено ранее [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Walter, W.G. Slow potential waves in the human brain associated with expectancy, attention and decision / W.G. Walter // *Archiv fur Psychiatric and Nervenkrankheiten*. – 1964. – V. 206. – P. 309–322.
2. Кануников, И.Е. Психофизиологическое исследование условной негативной волны у человека при сенсомоторной деятельности : // дис. ... канд. биол. наук / И.Е. Кануников. – Ленинград, 1980. – 179 л.
3. Николс, Дж.Т. От нейрона к мозгу / Дж.Т. Николс, А.Р. Мартин, Б.Дж. Валлас. – Москва, 2003. – 672 с.
4. 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.
5. Савченко, Е.И. Онтогенетические особенности развития медленных негативных и позитивных потенциалов при выполнении зрительной перцептивной задачи / Е.И. Савченко, Д.А. Фарбер // *Журн. высшей нервной деятельности*. – 1990. – Т. 40, № 1. – С. 29–36.
6. Хомич, Г.Е. Возрастные изменения параметров некоторых вызванных потенциалов, коррелирующих с напряжением внимания / Г.Е. Хомич, Н.К. Саваневский // *Вестн. Брєсц. ун-та*. – 2010. – № 1. – С. 73–76.

G.E. Khomich, N.K. Savanevski. Peculiarities of the Conditional Negative Wave and Children's and Adults' Late Positive Complex by Producing a Pair of Stimula, which don't Nud Differentiating

There are presented results of the research of the acoustic causing potentials among people of different age. There are discovered age changes in the parameters of CNW and LPC in acoustic stimula, which don't nud differentiating.