

## ОТРАЖЕНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ЗНАЧИМОСТИ ВИЗУАЛЬНЫХ СТИМУЛОВ В ХАРАКТЕРИСТИКАХ ВЫЗВАННЫХ ЭЭГ-ПОТЕНЦИАЛОВ

Поступила 28.11.09

В режиме пассивного просмотра здоровым испытуемым ( $n = 88$ ) предъявляли положительные и отрицательные эмоциональные, а также нейтральные зрительные стимулы Международной аффективной системы изображений (IAPS). Анализировали амплитудно-временные характеристики компонентов P1, N1, P2, N2 и P3 вызванных ЭЭГ-потенциалов (ВП) и их топографическое распределение. Выявлены различия латентных периодов (ЛП) максимумов, амплитуд и топографии волн ВП, возникавших в ответ на предъявление положительных и отрицательных стимулов, при сравнении их с соответствующими значениями характеристик ВП, инициированных предъявлением нейтральных стимулов. Степень и характер этих различий у разных компонентов ВП были неодинаковы и зависели от знака эмоции. Различия, связанные с валентностью опознаваемого стимула, наблюдали почти на всех этапах обработки визуальных сигналов, причем для отрицательных стимулов – начиная с ранней стадии сенсорного анализа, соответствующей развитию волны P1. Компоненты P1 в случаях предъявления эмоциональных негативных стимулов, а N1, N2 и P3 – стимулов обеих валентностей возникали с более короткими ЛП, чем в условиях воздействия нейтральных стимулов. Амплитуда компонента N2 при восприятии положительных стимулов была в среднем меньше, а амплитуда P3 при восприятии всех эмоциональных стимулов – больше, чем в случаях воздействия нейтральных. Временная динамика топографических особенностей обработки эмоциональной информации была сложной. Активация левого полушария отмечалась на самых ранних, а правого – на промежуточных этапах восприятия. Генерализованную активацию коры в ответ на действие отрицательных сигналов и доминирование левого полушария в условиях предъявления положительных стимулов наблюдали лишь на заключительном этапе. Предполагается, что, поскольку эмоциональные стимулы обладают большей биологической значимостью по сравнению с нейтральными, они первыми привлекают избирательное внимание, сильнее активируют соответствующие зоны коры и соответствующая визуальная информация быстрее обрабатывается. Наблюдавшиеся эффекты были более выраженными в случаях действия негативных стимулов; они охватывали более обширные области коры, что указывает на большую интенсивность активационного влияния негативных эмоциональных стимулов на нейронные системы высших отделов ЦНС.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вызванные потенциалы, амплитуда, латентный период, эмоциональные стимулы, эмоциональная валентность, изображения системы IAPS.

### ВВЕДЕНИЕ

В последнее время отмечается существенный рост числа исследований, посвящённых нейрофизио-

логическим основам эмоциональных реакций человека (соответствующая информация отражена в ряде обзоров [1, 2]). Согласно современным психологическим и физиологическим теориям, подчёркивающим дифференцированную структуру эмоциональных реакций [3], первым этапом в развитии последних является восприятие эмоциональной информации, включающее в себя декодирование внешних (звуковых, зрительных, тактильных и др.) и внутренних (когнитивных и interoцептив-

<sup>1</sup> Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь (АР Крым, Украина).  
Эл. почта: anna.kovalenco@gmail.com (А. А. Коваленко);  
pavlenkovb@crimea.edu (В. Б. Павленко);  
chsergey77@mail.ru (С. В. Чёрный).

ных) эмоциональных сигналов, определение знака поступающей эмоциональной информации и оценку её значимости для индивида. На втором этапе происходит собственно переживание возникшей эмоции, т. е. её реальное возникновение у индивидуума, сопровождающееся дополнительной активацией соматических и вегетативных систем [4]. Данные нейрофизиологических, позитронно-эмиссионных и магниторезонансных исследований показывают, что этапы восприятия и переживания эмоций ассоциируются с активностью различных подразделений эмоциогенных и регулирующих систем мозга [5].

Электрофизиологические корреляты переживания эмоций и возможные нейрофизиологические механизмы эмоциональных реакций изучались достаточно широко. Обычно для этого использовали анализ спектральных и когерентных характеристик текущей массовой электрической активности коры головного мозга (ЭЭГ) при выполнении испытуемыми различных заданий, связанных с индукцией эмоциональных переживаний [6, 7]. Однако для анализа самых ранних этапов развития эмоциональной реакции такой метод оказывается неэффективным, поскольку для него характерно относительно низкое временное разрешение. В данном аспекте гораздо более продуктивным, на наш взгляд, является применение методов отведения и анализа вызванных ЭЭГ-потенциалов (ВП). Регистрация ВП обеспечивает весьма высокое временное и пространственное разрешение и позволяет получить относительно подробную пространственно-временную картину последовательности электрических событий, возникающих в мозгу до, во время и после выполнения того или иного психофизиологического задания. Таким образом, экспериментатор получает возможность проследить электрофизиологические корреляты последовательных стадий процесса переработки сенсомоторной информации и ряда когнитивных процессов [8].

Экспериментально показано, что обработка аффективной информации может быть количественно оценена в определенных аспектах путём анализа амплитуд и латентных периодов (ЛП) последовательных компонентов ВП [9]. Несмотря на это, до недавнего времени использование метода отведения и анализа ВП в исследованиях процессов восприятия эмоциогенных стимулов было в основном сконцентрировано на изучении характеристик последнего компонента данных потенциалов (P3) и его межполушарной асимметрии [10, 11]. Не из-

ученными в достаточной степени остаются влияние знака (валентности) эмоции на амплитудно-временные параметры более ранних компонентов ВП, а также топографические особенности развития волн ВП в ответ на предъявление аффективных сигналов. Результаты немногочисленных работ в этой области неоднозначны, а зачастую просто противоречивы. По-видимому, данное обстоятельство обусловлено прежде всего разнообразием стимульного материала, применяемого для формирования эмоциональной реакции в эксперименте. Так, во многих исследованиях вызванная ЭЭГ-активность регистрировалась у испытуемых при опознании ими лицевой экспрессии различных эмоций. Очевидно, что использование в качестве стимулов изображений лиц (т. е. сложных и чрезвычайно специализированных стимулов) могло существенно влиять на паттерн пространственных и амплитудно-временных характеристик ВП [12]. Это утверждение практически в равной степени справедливо и в отношении предъявляемых визуально вербальных стимулов, несущих эмоциональную окраску. Ещё одним источником противоречий и затруднений, обуславливающих плохую воспроизводимость результатов, является большое разнообразие парадигм, в рамках которых осуществлялась регистрация ВП. В подавляющем большинстве работ перед испытуемыми стояли задачи выделения эмоциогенных стимулов из смешанной последовательности подобных и нейтральных раздражений или категоризации стимула сразу после его предъявления, что в значительной мере задействовало когнитивный компонент реагирования.

С учётом вышесказанного наше исследование основывалось на использовании сигналов со статическим эмоциональным содержанием, предъявляемых в режиме пассивного просмотра (*passive viewing*). Это обеспечивало усиление собственно эмоционального компонента анализа и не предусматривало необходимости выполнения сопутствующих специальных заданий (немедленной реакции на предъявление стимула, оценки сигнала в момент предъявления, отслеживания тестового сигнала и пр.). В качестве стимульного материала мы использовали зрительные сигналы Международной аффективной системы изображений (IAPS, Center for the Study of Emotion and Attention, CSEA-NIMH, 1999). Это позволяло контролировать факторы знака эмоции и эмоциональной активации. Известно, что воздействие стимулов данной системы вызывает комплекс субъективных, вегетативных и нейро-

физиологических эмоциональных реакций, варьирующих в зависимости от знака и активирующего содержания стимула [13].

Таким образом, в настоящем исследовании был проведен анализ амплитудно-временных и топографических характеристик ВП человека при восприятии указанных выше эмоционально значимых визуальных стимулов.

## МЕТОДИКА

В тестах участвовали 88 испытуемых-правшей (35 мужчин и 53 женщины) в возрасте 18–25 лет. Все испытуемые дали информированное согласие на участие в эксперименте. В качестве стимульного материала использовали зрительные сигналы из набора Международной аффективной системы изображений (IAPS). Эти стимулы представляют собой фотографии, зрительное восприятие которых у подавляющего большинства людей вызывает позитивные (красивые лица с выражением положительных эмоций, приятные события, эстетически привлекательные пейзажи) либо негативные (изображения аварий, катастроф, обезображенных частей тела и т. п.) эмоции или же нейтрально в эмоциональном аспекте (изображения обычных предметов в обыденной обстановке). Все стимулы были разделены на три категории в зависимости от нормативных значений по шкалам знака эмоции и уровней эмоциональной активации. В каждой категории были отобраны по 30 стимулов – нейтральных, положительных с высоким эмоциональным содержанием и отрицательных с таким же высоким эмоциональным содержанием (использовались следующие стимулы Международной аффективной системы изображений: нейтральные – 2102, 2190, 2200, 2514, 2880, 5390, 7000, 7002, 7004, 7006, 7009, 7010, 7020, 7030, 7031, 7035, 7040, 7090, 7100, 7130, 7150, 7175, 7211, 7217, 7233, 7705; отрицательные – 1300, 2053, 2730, 2800, 2811, 3000, 3010, 3016, 3022, 3100, 3101, 3120, 3130, 3170, 3225, 3250, 3400, 3550, 6350, 9042, 9253, 9265, 9320, 9405, 9410, 9433, 9561, 9570, 9582, 9600 и положительные – 1440, 1441, 1460, 1463, 1722, 1920, 1999, 2040, 2070, 2311, 4599, 4611, 4626, 4641, 4658, 5621, 5623, 5629, 5660, 5831, 5833, 5890, 5910, 7230, 7325, 7508, 8030, 8180, 8190, 8490).

Стимулы-изображения предъявлялись на экране монитора в случайном порядке; длительность каждого предъявления составляла 1 с, а межстимуль-

ный интервал, в течение которого испытуемый наблюдал лишь тёмный экран, – от 3 до 4 с.

Во время предъявления стимулов испытуемые сидели в кресле в затемнённой звукоизолированной экранированной камере; экран монитора находился на расстоянии 80 см. Для минимизации мышечных артефактов испытуемый/ая получал/а инструкцию поддерживать расслабленное состояние и не совершать каких-либо движений. С целью ограничения движений глаз, а также для снижения мощности альфа-ритма (который может частично синхронизироваться с компонентами ВП, затрудняя их выделение) испытуемого/ую просили фиксировать взгляд на постоянно включенном красном светодиоде в центре экрана монитора.

Использовался многоканальный электроэнцефалограф «Нейрон-спектр-4» (РФ). Зрительные ВП отводили монополярно от 17 локусов соответственно стандартной международной системе «10–20» (F3/4, F7/8, C3/4, P3/4, O1/2, T3/4, T5/6, Fz, Cz и Pz). Частота режекции фильтра высоких частот равнялась 35 Гц, постоянная времени каналов отведения – 0.32 с, частота дискретизации ЭЭГ –  $1000\text{ с}^{-1}$ . Референтным электродом служили объединённые ушные электроды A1 и A2. Результаты отведения от переднелобных локусов (Fp1/2) были исключены из анализа в связи с тем, что образцы регистраций по этим каналам содержали значительное количество артефактов. Для регистрации и обработки данных использовали программу ERP-3 (программист В. В. Арбатов).

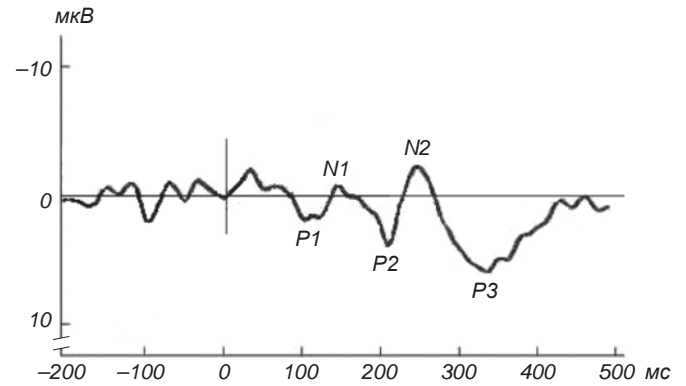
Под визуальным контролем из записи отбирали безартефактные реализации ВП, которые в дальнейшем программно сортировали и усредняли в зависимости от типа стимула. Таким образом, усреднялись все реализации, не содержащие в себе артефактов (обычно 25–27 из 30, инициированных предъявлением стимулов упомянутых выше категорий). Поскольку индивидуальная вариабельность ВП высока, для достижения более точных результатов временные интервалы, в пределах которых осуществлялся поиск тех или иных компонентов, задавались для каждого из испытуемых с учётом индивидуальных особенностей его/ее ВП. Тем не менее в среднем максимумы анализируемых компонентов ВП соответствовали следующим временным интервалам: P1 – 80–120, N1 – 120–160, P2 – 160–220, N2 – 220–300 и P3 – 300–450 мс после предъявления сигналов [14]. При усреднении каждой группы из 25–30 реализаций за изолинию принимали средний уровень активности в течение 200 мс до момента начала предъявления стимула. В усреднённых ВП, возникавших в ответ

на действие стимулов каждой из категорий (отрицательные, положительные, нейтральные), измеряли ЛП максимумов последовательных компонентов ВП (P1, N1, P2, N2 и P3) и амплитуды, соответствующие этим максимумам. Общий вид комплекса усреднённых ВП, развивающихся при предъявлении визуального эмоциогенного стимула, показан на рис. 1.

Числовые данные обрабатывались с применением стандартных методов вариационной статистики. Поскольку распределения большинства показателей не соответствовали нормальному закону, для оценки достоверности межгрупповых различий использовали непараметрический критерий Вилкоксона.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

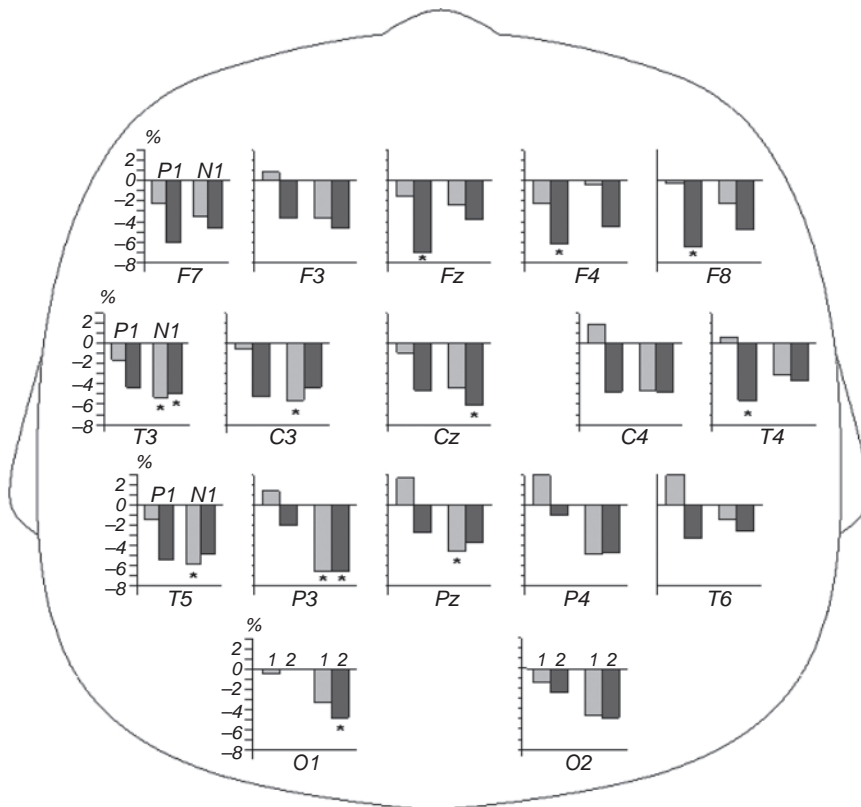
Результаты измерений ЛП максимумов и амплитуд волн ВП, зарегистрированных при восприятии эмоционально положительных и эмоционально отрицательных визуальных стимулов, показали, что значения этих показателей отличаются от соответствующих параметров ВП, индуцированных действием нейтральных стимулов. Степень и характер данных различий оказались неодинаковыми для разных компонентов ВП и зависели от знака эмоции.



**Р и с. 1.** Пример усредненного вызванного потенциала (ВП), зарегистрированного при предъявлении визуального эмоционально значимого стимула у одного из испытуемых. Вертикальной чертой отмечен момент предъявления стимула. По оси абсцисс – время, мс; по оси ординат – амплитуда, мкВ. N1, N2, P1–P3 – последовательные компоненты ВП.

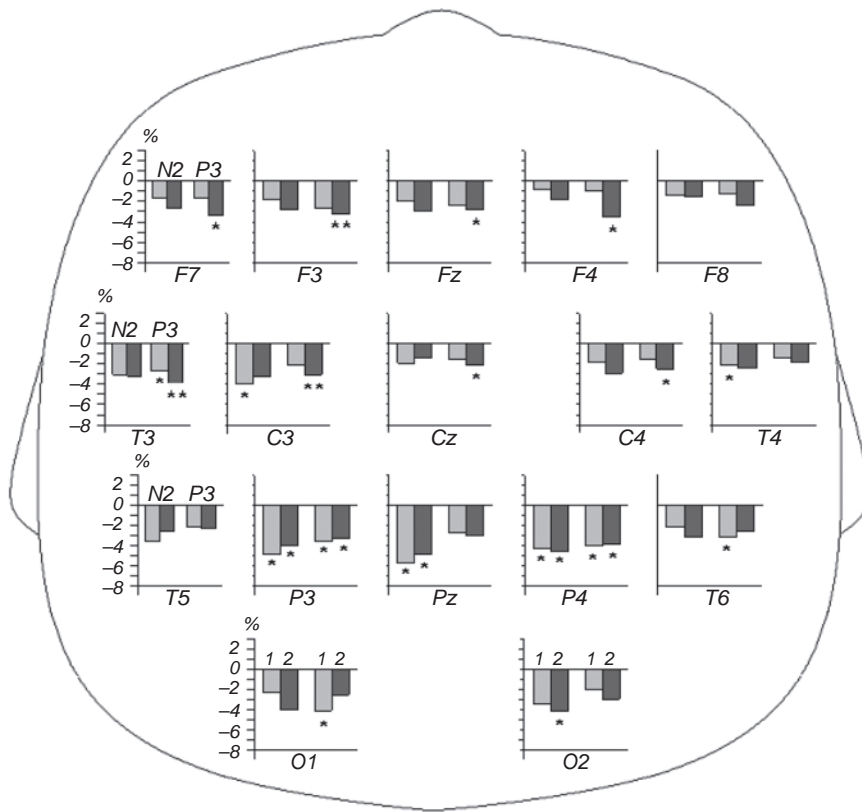
**Р и с. 1.** Приклад усередненого викликаноного потенціалу, зареєстрованого при пред'явленні візуального емоційно значущого стимулу в одного з випробуваних.

*Компонент P1 (ЛП 80–120 мс).* Средние значения ЛП компонента P1 в различных отведениях при предъявлении нейтральных стимулов находились в диапазоне 109–113 мс. В случаях же предъявления эмоционально негативных стимулов ЛП этой



**Р и с. 2.** Диаграммы отличий латентных периодов (ЛП) максимумов компонентов P1 и N1 вызванных потенциалов (ВП), развивающихся в соответствующих локусах (указаны под диаграммами) при предъявлении эмоционально окрашенных стимулов, от соответствующих значений ЛП компонентов ВП, обусловленных предъявлением нейтральных стимулов. По вертикали – разность (%) между ЛП компонентов ВП, возникающих в результате предъявления эмоционально позитивных (1) и негативных (2) стимулов, и ЛП соответствующих компонентов нейтральных стимулов (приняты за 100 %). Звёздочками отмечены случаи межгрупповых достоверных различий ( $P < 0.05$ ).

**Р и с. 2.** Діаграми відмінностей латентних періодів (ЛП) максимумів компонентів P1 і N1 викликаних потенціалів (ВП), що розвивалися у відповідних локусах (вказані під діаграмами) при пред'явленні емоційно забарвлених стимулів, від відповідних значень ЛП компонентів ВП, зумовлених пред'явленням нейтральних стимулів.



**Р и с. 3.** Диаграммы отличий латентных периодов (ЛП) компонентов *N2* и *P3* вызванных потенциалов (ВП), развивающихся в соответствующих локусах (указаны под диаграммами) при предъявлении эмоционально окрашенных стимулов, от соответствующих значений ЛП компонентов ВП, обусловленных предъявлением нейтральных стимулов. Двумя звёздочками отмечены случаи межгрупповых высокодостоверных различий ( $P < 0.01$ ). Остальные обозначения те же, что и на рис. 2.

**Р и с. 3.** Діаграми відмінностей латентних періодів (ЛП) компонентів *N2* і *P3* викликаних потенціалів (ВП), що розвивалися у відповідних локусах (вказані під діаграмами) при пред'явленні емоційно забарвлених стимулів, від відповідних значень ЛП компонентів ВП, зумовлених пред'явленням нейтральних стимулів.

волны в латеральных и медиальных лобных и переднетеменных областях правого полушария, а также в срединном фронтальном отведении (F8, F4, Fz и T4) оказались значимо короче ( $P < 0.05$ ; рис. 2). При воздействии эмоционально положительных стимулов влияния данной характеристики эмоциогенного сигнала на ЛП компонента P1 отмечено не было. Амплитуды P1 в большинстве областей коры в случаях восприятия аффективных стимулов (как отрицательных, так и положительных) были в целом несколько больше, чем в условиях действия нейтральных стимулов, однако эти различия не достигали уровня статистической значимости.

**Компонент N1 (ЛП 120–160 мс).** У раннего негативного компонента (N1) ВП, инициированных предъявлением аффективных стимулов, ЛП также отличались от соответствующих значений у ВП, связанных с нейтральными стимулами (рис. 2). В ответ на действие нейтральных стимулов максимум N1 достигался через 157–162 мс после предъявления стимула, тогда как в случаях эмоционально негативных стимулов указанный компонент в передневисочных, теменных и затылочных областях левого полушария, а также в срединном отведении центральной зоны коры возникал несколько раньше (в T3, P3, O1 и Cz различия были достовер-

ными;  $P < 0.05$ ). ЛП компонента N1 при восприятии эмоционально положительных стимулов также был достоверно короче в центральных, передне- и задневисочных и теменных отведениях левого полушария, а также в срединном отведении теменной области (C3, T3, T5, P3 и Pz;  $P < 0.05$ ).

**Компонент N2 (ЛП 220–300 мс).** Достоверных различий амплитуды волны N1, связанных со знаком эмоций, отмечено не было. В то же время на амплитуду более позднего (среднелатентного) негативного компонента N2 значимое влияние оказывало предъявление эмоционально положительных, но не отрицательных стимулов. Амплитуда компонента N2 в случаях воздействия нейтральных стимулов могла составлять от  $-0.5$  до  $2.4$  мкВ. В ответ на предъявление положительных сигналов в центральной и затылочной областях левого полушария (C3, O1) развивался компонент N2 меньшей амплитуды, т. е. наблюдался сдвиг пика этого колебания в сторону позитивности ( $P < 0.05$ ). ЛП компонента N2 также демонстрировал зависимость от эмоциональной значимости стимула и был короче при восприятии аффективных стимулов по сравнению с аналогичными показателями, зарегистрированными в случаях действия нейтральных стимулов (средние величины от 248 до 261 мс в различных

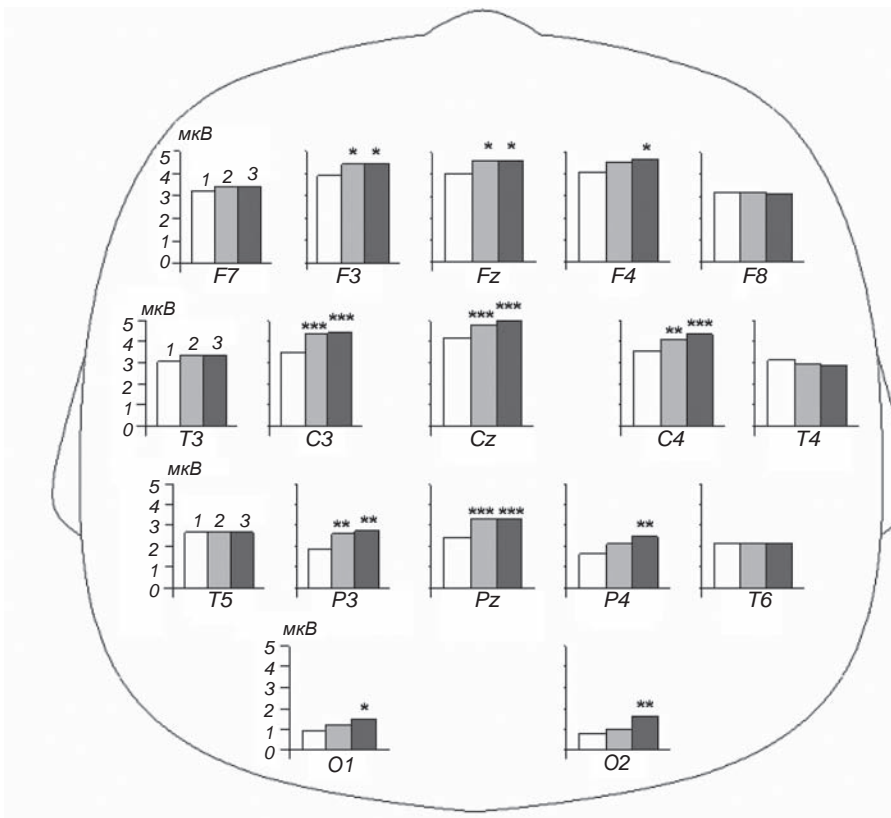
отведениях). Статистически достоверные различия величин ЛП N2, инициированных стимулами обеих эмоциональных валентностей, наблюдались в теменных областях (P3, P4, Pz<sub>нер</sub>;  $P < 0.05$  и Pz<sub>поз</sub>;  $P < 0.01$ ), а также в условиях предъявления негативных стимулов – в затылочной зоне правого полушария (O2;  $P < 0.05$ ), при действии же позитивных – в центральной и заднетеменной зонах левого полушария (C3, T5;  $P < 0.05$ ) (рис. 3).

**Компонент P3 (ЛП 300–450 мс).** Эмоционально окрашенные стимулы обеих валентностей влияли как на амплитуду, так и на ЛП волны P3. Так, задержка максимума потенциала P3, развивающегося в ответ на предъявление нейтральных стимулов, в среднем составляла 314–321 мс. Данные значения, наблюдаемые при эмоционально отрицательных изображениях, в лобных, центральных, теменных областях и передневисочной зоне левого полушария были достоверно короче (C4, Cz, F4, F7, Fz, P3 и P4;  $P < 0.05$ ; C3, F3 и T3;  $P < 0.01$ ). В условиях же действия эмоционально положительных стимулов это отмечалось в передневисочных и теменных областях, а также в задневисочной области правого полушария и затылочной области левого полушария (P3, P4, T3, T4, T6, O1;  $P < 0.05$ ) (рис. 3).

Амплитуда волны P3 в ответах на действие отрицательных стимулов была достоверно большей по сравнению с наблюдаемой при предъявлении нейтральных визуальных раздражителей (т. е. эта волна была более позитивной) в медиальных лобных, центральных, теменных и затылочных областях (F3, F4, Fz, O1;  $P < 0.05$ ; P3, P4, O2;  $P < 0.01$ ; C3, C4, Cz, Pz;  $P < 0.001$ ). В случаях же воздействия положительных стимулов относительное увеличение амплитуды компонента P3 было статистически значимым в центральных областях (симметрично), в медиальной лобной и теменной областях левого полушария, а также в срединных отведениях от лобной, центральной и теменной зон коры (F3, Fz;  $P < 0.05$ ; C4, P3;  $P < 0.01$ ; C3, Cz, Pz;  $P < 0.001$ ) (рис. 4).

### ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно фактически общепринятому в настоящее время в литературе мнению, эмоциональная значимость визуальных стимулов определенным образом отражается в основном на характеристиках компонентов ВП, возникавших с ЛП более 200 мс. Поэтому сведения, касающиеся влияния эмоцио-



**Р и с. 4.** Диаграммы амплитуд волн P3, развивающихся в ответ на предъявление нейтральных (1), положительных (2) и отрицательных (3) стимулов. По вертикали – амплитуда (мкВ). Три звездочки отмечены высокодостоверные межгрупповые различия ( $P < 0.001$ ). Остальные обозначения те же, что и на рис. 2.

**Р и с. 4.** Діаграми амплітуд хвиль P3, що розвиваються у відповідь на пред'явлення нейтральних (1), позитивних (2) і негативних (3) стимулів.

нальной окраски стимулов на ранние этапы обработки зрительной информации, достаточно скудны. Тем не менее имеются исследования, результаты которых свидетельствуют о заметной зависимости от валентности предъявляемого изображения амплитуды раннего позитивного компонента ВП P1. Эти компоненты были явно большими в условиях действия негативных стимулов, чем при предъявлении позитивных и нейтральных изображений [15, 16]. Сходные данные были получены и в отношении компонента N1, амплитуда которого в затылочно-височных областях коры была большей в условиях восприятия любых эмоциогенных стимулов, независимо от их знака [17]. В то же время, согласно мнению ряда авторов [2], эмоциональная составляющая стимула влияет главным образом на амплитудные характеристики компонентов ВП, тогда как зависимость временных параметров незначительна. Результаты нашей работы показали, что ЛП компонентов ВП также достоверно связаны со знаком индуцируемой эмоции, причём соответствующие различия проявляются достаточно рано. Так, в случаях предъявления негативных эмоциогенных стимулов такие различия отмечаются уже во время развития волны P1 (ЛП 80–120 мс). В литературе имеются лишь единичные указания на подобные особенности. В частности, в работе Михайловой и Розенберг [18] было обнаружено относительное уменьшение ЛП ранних компонентов P1 и N1 при опознании лиц в экспрессии отрицательных эмоций страха и гнева.

В свете современных представлений колебание P1 в составе ВП интерпретируют как нейрофизиологический коррелят преобладающего внимания к поступлению информации по определенному сенсорному входу и подавления информации, к которой не привлечено внимание; полагают также, что характеристики P1 некоторым образом отражают общий уровень церебральной активации [19]. Была показана также чувствительность характеристик компонента P1 к стимулам, которые имеют особую субъективную значимость для человека [20]. Очевидно, меньшие ЛП компонента P1, отмеченные в лобнотемных областях правого полушария при восприятии отрицательных эмоциогенных стимулов по сравнению с соответствующими значениями при действии нейтральных изображений, и отсутствие значимых различий у эффектов действия положительных стимулов связаны с большей значимостью негативной эмоциональной информации для индивидуума, что обуславливает более быструю обработку этой информации.

Однако уже начиная с временного интервала, соответствующего возникновению волны N1, становится явным и влияние позитивных аффектов на параметры вызванной массовой активности коры. ЛП указанного компонента в левополушарных областях коры были короче в случаях использования как эмоционально отрицательных, так и положительных визуальных сигналов. Однако у эффектов «отрицательной» стимуляции различия по сравнению с эффектами «нейтральной» стимуляции были более выраженными, т. е. при восприятии отрицательно эмоционально окрашенной информации компонент N1 развивался несколько раньше. Данный факт может рассматриваться как отражение разной скорости переработки эмоциональной информации разного знака.

Ранее для параметров компонента N1 была показана их связь с процессами внимания. В частности, была обнаружена зависимость параметров компонентов N1 и P1 от степени активации селективного внимания (прямая – для амплитуды и обратная – для ЛП) [21]. Возможно, выявленное нами сравнительное укорочение ЛП волны N1 отражает больший уровень селективного внимания, привлекаемого аффективными стимулами; это обуславливает формирование более «быстрого» и выраженного ВП-ответа по сравнению с эффектами действия нейтральных и позитивных сигналов.

Колебание N2, как и предшествующий компонент N1, при предъявлении эмоционально окрашенных стимулов возникало раньше, чем при действии нейтральных, и тенденция к более раннему возникновению N2 в ответ на эмоционально отрицательную стимуляцию сохранялась. Необходимо подчеркнуть, что, согласно данным литературы, единое мнение относительно психофизиологической интерпретации колебания N2 пока отсутствует. Предполагают, однако, что от момента инициации компонента N2 начинается этап психологического опознания стимула [22]. Следовательно, меньшие ЛП колебания N2 в случаях действия эмоциогенных сигналов могут соответствовать более раннему началу опознания последних по сравнению с таковым в случаях использования нейтральных. Несколько неожиданным для нас оказался факт специфического уменьшения амплитуды компонента N2, т. е. сдвига его максимума в сторону позитивности, при воздействии эмоционально положительных стимулов по сравнению с нейтральными. Данные некоторых других исследователей свидетельствовали о том, что амплитуда компонента N2

в условиях предъявления позитивных стимулов была выше, чем в случаях действия негативных и нейтральных изображений [23]. Другими авторами упоминалось, что амплитуда компонента N2 была выше в условиях применения эмоционально окрашенных стимулов любой валентности [24].

С другой стороны, считается, что развитие волны N2 связано с активностью механизмов селекции информации: чем более развито селективное внимание, тем меньше амплитуда данной волны [25]. Есть также сведения о том, что у испытуемых, характеризующихся повышенным уровнем тревожности, компонент N2 в составе ВП, которые развиваются при предъявлении эмоционально отрицательных угрожающих стимулов, был существенно редуцирован. Данный феномен связывался авторами с более эффективной деятельностью сферы внимания у таких индивидуумов [26]. Исходя из этого, следовало бы ожидать уменьшения амплитуды колебания N2 под влиянием негативной эмоциональной стимуляции. Однако дополнительное сравнение между собой показателей амплитуд N2 в случаях предъявления отрицательных и положительных стимулов выявило достоверно большие значения амплитуд в ответ на отрицательную стимуляцию. Необходимо отметить, что в работе Олофссона и Полича [14] была показана большая амплитуда N2 в ответ на действие нейтральных стимулов по сравнению с таковой в условиях использования позитивных и негативных. Это согласуется с нашими результатами, однако указанный факт авторами никак не интерпретировался. Можно предположить, что, поскольку колебание N2 характеризуется высокой индивидуальной изменчивостью [27], наличие выраженных личностно обусловленных особенностей эмоционального реагирования приводило в пределах группы к отсутствию статистически достоверных различий между амплитудами колебания N2 ВП, возникавших в ответ на предъявление отрицательных и нейтральных стимулов. Возможно, этим же объясняется и отсутствие достоверных различий у коррелятов обработки эмоционально окрашенной и нейтральной информации во временном диапазоне компонента P2 (ЛП 160–220 мс). В целом вопрос о связи между личностным профилем эмоционального реагирования и характером вызванной кортикальной активности в настоящее время остаётся открытым и требует дальнейшего изучения.

Согласно результатам анализа, амплитудно-временные параметры компонента P3 в наибольшей степени подвергались модуляции, определяе-

мой эмоциональным содержанием воспринимаемой информации. Как и следовало ожидать, обнаружались укорочение ЛП P3 и увеличение амплитуды этой волны в случае применения эмоциогенных стимулов обеих валентностей по сравнению с таковыми в условиях предъявления нейтральных стимулов. Наши данные соответствуют результатам работ, в которых также отмечались более высокая амплитуда волны P3 [28, 29] и более короткий ЛП указанного потенциала [30] в условиях восприятия эмоциогенных сигналов по сравнению с эффектами нейтральных.

Принято считать, что компонент P3 связан с оценкой значимости стимула и корректировкой имеющейся в памяти информации в соответствии с полученными новыми данными [31], а также с процессами принятия решения на основе сравнения поступившего сигнала с моделью некоторого стимула, уже имеющейся в памяти [32]. Есть основания полагать, что генерация компонента P3 связана с осознанием перцептивного решения об идентификации релевантного сигнала и соответствует окончательному этапу информационной обработки в высших отделах ЦНС [33].

Обобщая данные литературы и результаты собственного исследования, можно предположить, что мозговая система обработки информации в целом более чувствительна к сигналам, имеющим эмоциональную окраску; они первыми привлекают избирательное внимание, сильнее активируют соответствующие зоны коры и быстрее обрабатываются. Наблюдавшиеся эффекты церебральной активации были в общем более выраженными в случаях предъявления негативных эмоциогенных стимулов и захватывали более обширные области коры, что даёт основание говорить о большем интегративном влиянии таких сигналов.

Представляло также интерес проанализировать топографические аспекты восприятия эмоциональной информации. При анализе временной динамики топографических особенностей обработки подобной информации прослеживалась следующая последовательность событий. На самом первом этапе обработки (80–120 мс) наблюдалась повышенная активация лобновисочных областей правого полушария, о чём свидетельствуют более короткие ЛП компонента P1 в этих зонах при использовании негативных стимулов (рис. 2). Данный факт может быть объяснён на основе существующих представлений о роли правого полушария в механизмах внимания в контексте выделения эмоцио-



нально значимых стимулов из окружающей среды. Это предположение подтверждается результатами недавних электроэнцефалографических исследований, свидетельствующими о более быстрой (на 20–30 мс), чем в левом полушарии, автоматической (на уровне предвнимания) переработке эмоционально окрашенных стимулов в правом полушарии [34]. Именно с лобными, а также теменными областями правого полушария, как полагают [35], ассоциируется так называемая сеть бдительного внимания (“alerting attention”), которая поддерживает уровень бодрствования (общего предваряющего внимания – general preparatory attention) и отвечает за функцию подготовки к восприятию стимула.

Уже через 120–160 мс после предъявления стимула фокус активации перемещался в левое полушарие, на что указывало более быстрое возникновение колебания N1 в центрально-теменно-височных областях левого полушария в случаях действия аффективных стимулов обеих валентностей. Актуализация последовательных левополушарных аналитических стратегий переработки информации [36] может обеспечивать более детальную оценку подобных сигналов.

Только во временном диапазоне развития волны N2 (220–300 мс) впервые отмечались признаки межполушарной асимметрии в обработке эмоциональной информации в зависимости от ее валентности. Наряду с общей активацией всей теменной области, стимулы отрицательной валентности раньше активировали затылочную зону правого полушария, тогда как стимулы положительной валентности – центральную зону левого полушария (рис. 3). С одной стороны, это соответствует общепринятым представлениям о связи правого полушария с формированием и осознанием отрицательных эмоций, а левого – положительных, с другой – может отражать процесс различения аффектов. Полученные нами данные подтверждают результаты недавних исследований, согласно которым указанный процесс происходит в интервале 150–260 мс после предъявления сигнала [37].

На окончательном этапе информационной обработки (300–450 мс) наблюдалась активация почти всей поверхности коры в условиях действия негативных стимулов, тогда как в случаях положительных стимулов сохранялось доминирование левого полушария. В нем отмечались наибольшее относительное увеличение амплитуды и укорочение ЛП потенциала P3 (рис. 3; 4). Очевидно, это ещё раз подтверждает гипотезу о большей биологической значимости отрицательных эмоциональных сигналов для абсолютного большинства индивидов.

А. А. Коваленко<sup>1</sup>, В. Б. Павленко<sup>1</sup>, С. В. Чорний<sup>1</sup>

## ВІДОБРАЖЕННЯ ЕМОЦІЙНОЇ ЗНАЧУЩОСТІ ВІЗУАЛЬНИХ СТИМУЛІВ У ХАРАКТЕРИСТИКАХ ВІКЛИКАНИХ ЕЕГ-ПОТЕНЦІАЛІВ

<sup>1</sup>Таврійський національний університет ім. В. І. Вернадського, Сімферополь (АР Крим, Україна).

### Резюме

У режимі „пасивного” перегляду здоровим випробуваним ( $n = 88$ ) пред’являли позитивні й негативні емоційгенні, а також нейтральні зорові стимули Міжнародної афективної системи зображень (IAPS). Аналізували амплітудно-часові характеристики компонентів P1, N1, P2, N2 і P3 викликаних ЕЕГ-потенціалів (ВП) та їх топографічний розподіл. Були виявлені відмінності латентних періодів (ЛП) максимумів, амплітуд і топографії хвиль ВП, які виникали у відповідь на пред’явлення позитивних і негативних стимулів, при порівнянні їх з відповідними значеннями характеристик ВП, ініційованих пред’явленням нейтральних стимулів. Ступінь і характер цих відмінностей у різних компонентів ВП були неоднаковими і залежали від знаку емоції. Відмінності, пов’язані з валентністю розпізнаного стимулу, спостерігали майже на всіх етапах обробки візуальних сигналів, причому для негативних стимулів – починаючи з ранньої стадії сенсорного аналізу, відповідної до розвитку хвилі P1. Компоненти P1 у разі пред’явлення емоційних негативних стимулів, а N1, N2 і P3 – стимулів обох валентностей виникали з більш короткими ЛП, ніж в умовах дії нейтральних стимулів. Амплітуда компонента N2 при сприйнятті позитивних стимулів була в середньому меншою, а амплітуда P3 при сприйнятті емоційгенних стимулів – більшою, ніж у разі дії нейтральних. Часова динаміка топографічних особливостей обробки емоційної інформації була складною. Активація лівої півкулі відмічалася на найбільш ранніх, а правої – на проміжних етапах сприйняття. Генералізовану активацію кори у відповідь на дію негативних сигналів і домінування лівої півкулі в умовах пред’явлення позитивних стимулів спостерігали на заключному етапі. Зроблено припущення, що, оскільки емоційгенні стимули мають більшу біологічну значущість порівняно з нейтральними, вони першими привертають вибірккову увагу, сильніше активують відповідні зони кори і відповідна візуальна інформація швидше оброблюється. Ефекти, що спостерігалися, були більш вираженими в умовах дії негативних стимулів; вони охоплювали обширніші ділянки кори, що вказує на більшу інтенсивність активаційного впливу негативних емоційгенних стимулів на нейронні системи вищих відділів ЦНС.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А. А. Коваленко, В. Б. Павленко, “Эмоциональная значимость стимула и черты личности: отражение в паттерне вызванных ЭЭГ-потенциалов”, *Нейрофизиология / Neurophysiology*, **41**, № 4, 336-356 (2009).
2. J. K. Olofsson, S. Nordin, H. Sequeira, et al., “Affective

- picture processing: an integrative review of ERP findings,” *Biol. Psychol.*, **77**, No. 3, 247-265 (2008).
3. J. T. Cacioppo and W. L. Gardner, “Emotion,” *Annu. Rev. Psychol.*, **50**, 191-214 (1999).
  4. Л. И. Афтанас, Л. Н. Савотина, Н. В. Рева, В. П. Махнев, “Нейрофизиологические механизмы мотивационного внимания у человека”, *Бюл. СО РАМН*, № 2, 77-82 (2004).
  5. K. L. Phan, T. Wager, and S. F. Taylor, “Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI,” *Neuroimage*, **16**, No. 2, 331-348 (2002).
  6. М. Н. Русалова, “Отражение эмоционального напряжения в пространственной синхронизации биопотенциалов головного мозга человека”, *Журн. высш. нерв. деятельности*, **40**, № 2, 254-259 (1990).
  7. Л. И. Афтанас, А. А. Варламов, С. В. Павлов и др., “Отражение проявления эмоций в вызванной ЭЭГ-синхронизации и десинхронизации”, *Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова*, **88**, № 6, 790-802 (2002).
  8. В. В. Гнездицкий, *Вызванные потенциалы мозга в клинической практике*, МЕДпресс-информ, Москва (2003).
  9. M. D. Rugg and M. G. Coles (eds.), *Electrophysiology of Mind: Event-Related Brain Potentials and Cognition*, Oxford Univ. Press, New York (1995).
  10. V. S. Johnston, D. R. Miller, and M. H. Burleson, “Multiple P3s to emotional stimuli and their theoretical significance,” *Psychophysiology*, **23**, No. 6, 684-794 (1986).
  11. J. Kayser, C. Tenke, H. Nordby, et al., “Event-related potential (ERP) asymmetries to emotional stimuli in a visual half-field paradigm,” *Psychophysiology*, **34**, No. 4, 414-426 (1997).
  12. J. C. Britton, S. F. Taylor, K. D. Sudheimer, et al., “Facial expressions and complex IAPS pictures: common and differential networks,” *Neuroimage*, **31**, No. 2, 906-919 (2006).
  13. P. J. Lang, M. K. Greenwald, M. M. Bradley, et al., “Looking at pictures: affective, facial, visceral, and behavioral reactions,” *Psychophysiology*, **30**, No. 3, 261-273 (1993).
  14. J. K. Olofsson and J. Polich, “Affective visual event-related potentials: arousal, repetition, and time-on-task,” *Biol. Psychol.*, **75**, No. 1, 101-108 (2007).
  15. S. Delplanque, M. E. Lavoie, P. Hoi, et al., “Modulation of cognitive processing by emotional valence studied through event-related potentials in humans,” *Neurosci. Lett.*, **356**, No. 1, 1-4 (2004).
  16. N. K. Smith, J. T. Cacioppo, J. T. Larsen, et al., “May I have your attention, please: electrocortical responses to positive and negative stimuli,” *Neuropsychologia*, **41**, No. 2, 171-183 (2003).
  17. H. T. Schupp, M. Junghofer, A. I. Weike, et al., “Attention and emotion: an ERP analysis of facilitated emotional stimulus processing,” *NeuroReport*, **14**, No. 8, 1107-1110 (2003).
  18. Е. С. Михайлова, Е. С. Розенберг, “Индивидуально-типологические особенности опознания лицевой эмоциональной экспрессии и вызванные потенциалы мозга человека”, *Журн. высш. нерв. деятельности*, **56**, № 4, 481-490 (2006).
  19. A. P. Fonaryova, G. O. Dove, and M. J. Maguire, “Linking brainwaves to the brain: an ERP primer,” *Dev. Neuropsychol.*, **27**, No. 2, 183-215 (2005).
  20. M. J. Taylor, “Non-spatial attentional effects on P1,” *Clin. Neurophysiol.*, **113**, No. 12, 1903-1908 (2002).
  21. D. M. Schnyer and J. J. Aleen, “Attention-related electroencephalographic and event-related predictors of responsiveness to suggested posthypnotic amnesia,” *Int. J. Clin. Exp. Hypn.*, **43**, No. 3, 295-315 (1995).
  22. G. Dawson, “Frontal electroencephalographic correlates of individual differences in emotion expression in infants: a brain systems perspective on emotion,” *Monogr. Soc. Res. Child. Dev.*, **59**, Nos. 2/3, 135-151 (1994).
  23. L. Carretie, J. A. Hinojosa, M. Martin-Loeches, et al., “Automatic attention to emotional stimuli: neural correlates,” *Human Brain Mapp.*, **22**, No. 4, 290-299 (2004).
  24. D. Palomba, A. Angrilli, and A. Mini, “Visual evoked potentials, heart rate responses and memory to emotional pictorial stimuli,” *Int. J. Psychophysiol.*, **27**, No. 1, 55-67 (1997).
  25. R. J. Barry, S. J. Johnstone, and A. R. Clarke, “A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: II. Event-related potentials,” *Clin. Neurophysiol.*, **114**, No. 3, 184-198 (2003).
  26. T. A. Dennis and C. C. Chen, “Trait anxiety and conflict monitoring following threat: an ERP study,” *Psychophysiology*, **46**, No. 1, 122-131 (2009).
  27. H. H. Michalewski, D. K. Prasher, and A. Starr, “Latency variability and temporal interrelationship of the auditory event-related potentials (N1, P2, N2, and P3) in normal subjects,” *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, **65**, No. 1, 59-71 (1986).
  28. A. Keil, M. M. Bradley, O. Hauk, et al., “Large-scale neural correlates of affective picture processing,” *Psychophysiology*, **39**, No. 5, 641-649 (2002).
  29. S. Delplanque, L. Silvert, P. Hot, et al., “Event-related P3a and P3b in response to unpredictable emotional stimuli,” *Biol. Psychol.*, **68**, No. 2, 107-120 (2005).
  30. Э. А. Костандов, Ю. Л. Арзуманов, “Межполушарные функциональные отношения при отрицательных эмоциях у человека”, *Журн. высш. нерв. деятельности*, **30**, № 2, 327-336 (1980).
  31. K. D. Oades, “Frontal, temporal and lateralized brain function in children with attention-deficit hyperactivity disorder: a psychophysiological and neuropsychological viewpoint on development,” *Behav. Brain Res.*, **94**, No. 1, 83-95 (1998).
  32. T. F. Münte, E. Münte, H. J. Heinze, et al., “Event related brain potentials and signal detection: decision confidence and signal probability,” *Elektroenzephalogr. Elektromyogr. Verwandte Geb.*, **20**, No. 1, 1-9 (1989).
  33. M. Kutas and S. A. Hillyard, “Event-related brain potentials (ERPs) elicited by novel stimuli during sentence processing,” *Ann. New York Acad. Sci.*, **425**, 236-241 (1984).
  34. D. Pizzagalli, M. Regard, and D. Lehmann, “Rapid emotional face processing in the human right and left brain hemispheres: an ERP study,” *NeuroReport*, **10**, No. 13, 2691-2698 (1999).
  35. A. Callejas, J. Lupianez, and P. Tudela, “The three attentional networks: on their independence and interactions,” *Brain Cogn.*, **54**, No. 3, 225-227 (2004).
  36. W. Heller, “Cognitive and emotional organization of the brain: Influences on the creation and perception of art,” in: *Neuropsychology*, D. Zaidel (ed.), Acad. Press, San Diego (1994), pp. 271-292.
  37. K. Inanaga, “Frontal midline theta rhythm and mental activity,” *Psychiat. Clin. Neurosci.*, **52**, No. 6, 555-566 (1998).