

АПРОБАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕНСОРНО-СПЕЦИФИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ МОЗГА НА ИЗБИРАТЕЛЬНОЕ РЕАГИРОВАНИЕ И ИЗБИРАТЕЛЬНОЕ ТОРМОЖЕНИЕ РЕАКЦИЙ НА РЕЛЕВАНТНЫЕ СИГНАЛЫ

Талалай И.В., Мачинская Р.И.

ФГБНУ «Институт развития, здоровья и адаптации ребенка»,
Москва

E-mail: etalalay.et@gmail.com

АННОТАЦИЯ. В работе представлена новая экспериментальная модель для исследования сенсорно-специфической подготовки мозговых систем к избирательному реагированию и избирательному торможению реакций на релевантные сигналы. Модель основана на парадигме «Go/NoGo»; в качестве зрительных стимулов используются пары графем, а в качестве слуховых — соответствующие по звучанию пары фонем. Для формирования сенсорно-специфического предвосхищающего внимания в модели предусмотрен блочный дизайн. Инструкция в начале каждого блока определяет сенсорную модальность фонем (графем), на которые необходимо реагировать (Go-стимулы), или редких стимулов, которые необходимо игнорировать (NoGo-стимулы). Таким образом, модель включает 4 блока: (1) блок со зрительным Go-стимулом; (2) блок со слуховым Go-стимулом; (3) блок со зрительным NoGo-стимулом; (4) блок со слуховым NoGo-стимулом. С использованием этой модели было проведено пилотное исследование с участием 20 здоровых подростков-правшей (10 девушек) в возрасте 14.2 ± 1.1 лет, в котором анализировались связанные с событием потенциалы в ответ на нецелевые стимулы в блоках «Go». Результаты исследования продемонстрировали эффект настройки на сенсорную модальность Go-стимула: амплитуда ССП с латентностью 208 мс в ответ на зрительные нецелевые стимулы была выше в блоке, в котором целью был зрительный стимул, чем в блоке, в котором целью был слуховой стимул. Различия амплитуды наблюдались в зрительных сенсорно-специфических зонах (отведения О1/О2 и Т5/Т6). Для слуховых стимулов аналогичные различия были обнаружены для латентностей 292 мс и 384 мс в зонах максимального ответа на слуховые сигналы (Pz и Fz)

Ключевые слова: зрительное и слуховое предвосхищающее внимание, подростки 13-15 лет, ЭЭГ, связанные с событием потенциалы мозга, задача «Go/NoGo»

Talalay I.V., Machinskaya R.I.

Sensory-specific tuning of the brain for selective responses and selective inhibition of responses to relevant stimuli: testing a new experimental model

ABSTRACT. *The paper presents a new experimental model for studying sensory-specific preparation of brain systems for selective responses and selective inhibition of responses to relevant stimuli. The model is based on the Go/NoGo task, it includes grapheme pairs as visual stimuli and corresponding phoneme pairs as auditory stimuli. The block design is used to create conditions for the deployment of sensory-specific anticipatory attention. The instruction at the beginning of each block specifies the sensory modality of rare stimuli to respond to (Go stimuli) or rare stimuli to ignore (NoGo stimuli). Thus, the model includes 4 experimental conditions: (1) the visual Go condition; (2) the auditory Go condition; (3) the visual NoGo condition; (4) the auditory NoGo condition. Using the new model, we conducted a pilot ERP study with 20 healthy right-handed adolescents (10 females) aged 14.2 ± 1.1 years. In this study, we analyzed brain activity in response to non-target stimuli in the Go conditions. The results showed the effect of the anticipated Go stimulus modality. ERP amplitude at 208 ms in response to visual non-target stimuli was higher in the visual GO condition than in the auditory Go condition. The difference was observed in visual sensory-specific areas (electrodes O1/O2 and T5/T6). For auditory stimuli, a similar difference was found at 292 and 384 ms in the areas associated with the maximum response to auditory stimuli (electrodes Pz and Fz).*

Key words: *visual and auditory anticipatory attention, adolescents aged 13-15 years, EEG, event-related potentials, Go/NoGo task*

Способность предвосхищать будущие события определяет успешность любой деятельности. В когнитивной психологии и психофизиологии для описания процессов настройки мозга на восприятие значимых событий в будущем часто используется термин “предвосхищающее внимание” [4;14]. Наиболее популярный способ формирования предвосхищающего внимания в экспериментальных условиях – это информирование испытуемых об особенностях целевого сигнала до его появления с помощью стимула-подсказки [10; 16; 17] или с помощью блочного дизайна экспериментальных сессий [3; 6], при котором инструкция в начале каждого блока формирует избирательное ожидание стимулов с определенными характеристиками.

Согласно литературным данным подготовка мозга к обработке значимой информации сопровождается вовлечением префронтальных (латеральная префронтальная кора, фронтальная глазодвигательная область) и теменных (внутриречневая борозда, латеральная внутриречневая кора) областей коры [2; 18] преимущественно правого полушария [5; 7], а также избирательным вовлечением модально-специфических областей коры, возникающим в соответствии с модальностью ожидаемых целевых сигналов [1; 4; 12; 13].

В наших предыдущих электроэнцефалографических исследованиях анализ когерентности альфа-ритма в пространстве корковых источни-

ков также продемонстрировал формирование функциональных связей между участниками дорсальной фронто-париетальной сети с вовлечением сенсорно-специфических областей коры при ожидании стимулов зрительной и слуховой сенсорной модальности [19; 20]. В литературе преобладает представление об альфа-ритме как о механизме подавления активности нерелевантных для выполнения задачи корковых зон [например, 9; 11; 15]. Вместе с тем наши данные дают основание предполагать, что роль альфа-осцилляций, напротив, состоит в функциональном объединении корковых зон в процессе подготовки к обработке значимой информации.

Для исследования дискуссионного вопроса о роли ритмических осцилляций альфа-диапазона в формировании функциональной организации коры головного мозга при избирательном предвосхищающем внимании была разработана экспериментальная модель, включающая как условия избирательного ожидания, так и условия избирательного предвосхищающего игнорирования стимулов разной сенсорной модальности. Эта модель предусматривает возможность сравнения модально-специфических изменений ритмических колебаний в альфа-диапазоне ЭЭГ в условиях активной избирательной настройки на обработку информации и в условиях активного подавления такой обработки. За основу мы взяли задачу «Go/NoGo», а для формирования избирательного сенсорно-специфического предвосхищающего внимания в модели предусмотрели блочный дизайн, т.е. предъявление стимулов блоками, различающимися модальностью редких целевых (Go) или игнорируемых (NoGo) стимулов. Чтобы определить, позволяет ли новая модель создать условия для избирательного модально-специфического предвосхищающего внимания, было проведено пилотное исследование, в котором анализировались связанные с событием потенциалы (ССП) в ответ на стимулы разной сенсорной модальности.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Испытуемые

В исследовании приняли участие 20 здоровых испытуемых-правшей, (10 юношей, 10 девушек) в возрасте 14.2 ± 1.1 лет с нормальным или скорректированным до нормального зрением. Родители каждого ученика дали информированное письменное согласие на участие их ребенка в исследовании. Исследование было одобрено этическим комитетом ФГБНУ «Институт развития, здоровья и адаптации ребенка».

Экспериментальная модель и процедура исследования

Была разработана экспериментальная модель для электроэнцефалографического исследования влияния модальности целевого сигнала на мозговую организацию избирательного предстимульного внимания в условиях монотонной деятельности на компьютере. Модель была реализована в программной среде «GNU Octave 6.4.0» на базе Psychtoolbox-3. Для оценки эффективности избирательного внимания в условиях монотонной деятельности была выбрана задача типа «Go/NoGo». Данная задача подразумевает наличие двух экспериментальных условий. В Go-условии (рис. 1) от испытуемого требуется как можно быстрее реагировать нажатием клавиши на появление одного редкого целевого сигнала, игнорируя остальные стимулы. В NoGo-условии, напротив, необходимо реагировать на все стимулы, при этом тормозя реакцию на один определенный инструкцией редкий сигнал. Во время разработки экспериментальной модели были подобраны такие целевые (Go) и игнорируемые (NoGo) стимулы, которые могут быть представлены как в зрительной, так и в слуховой сенсорной модальности, а именно парные сочетания графем/фонем «АК», «АХ» и «ОС». В зрительном варианте Go-условия испытуемый должен реагировать только при появлении в центре экрана сочетания букв «АК», а в слуховом варианте — только при звуковоспроизведении сочетания фонем [ak]. При этом как в зрительном, так и в слуховом вариантах Go-условия испытуемым квазислучайным образом предъявляются зрительные и слуховые варианты всех обозначенных выше стимулов. NoGo-условие для обеих сенсорных модальностей устроено схожим образом, однако теперь от испытуемого требуется реагировать на все стимулы, кроме «АХ» (сочетание букв для зрительного варианта и сочетание фонем — для слухового). Таким образом, разработанная модель сочетает в себе четыре условия, реализованных в виде четырех экспериментальных блоков, которые формируют у испытуемых избирательное ожидание или избирательное игнорирование (торможение реакции) определенных стимулов в определенной сенсорной модальности. Каждый блок включает 120 проб, в 36 (30 %) из которых предъявляется целевой стимул «АК» или нецелевой стимул «АХ». В каждой пробе у испытуемого есть 2000 мс, чтобы дать ответ; следующая проба начинается после реакции испытуемого через плавающий временной интервал продолжительностью 1000-1500 миллисекунд. Разработанная экспериментальная модель автоматически фиксирует каждую реакцию испытуемого и ее время, автоматически запускает

и останавливает запись электроэнцефалограммы (ЭЭГ), добавляет метки на ЭЭГ с информацией о начале каждой пробы, о модальности и типе предъявленного стимула, а также о правильности, неправильности или отсутствии ответа.

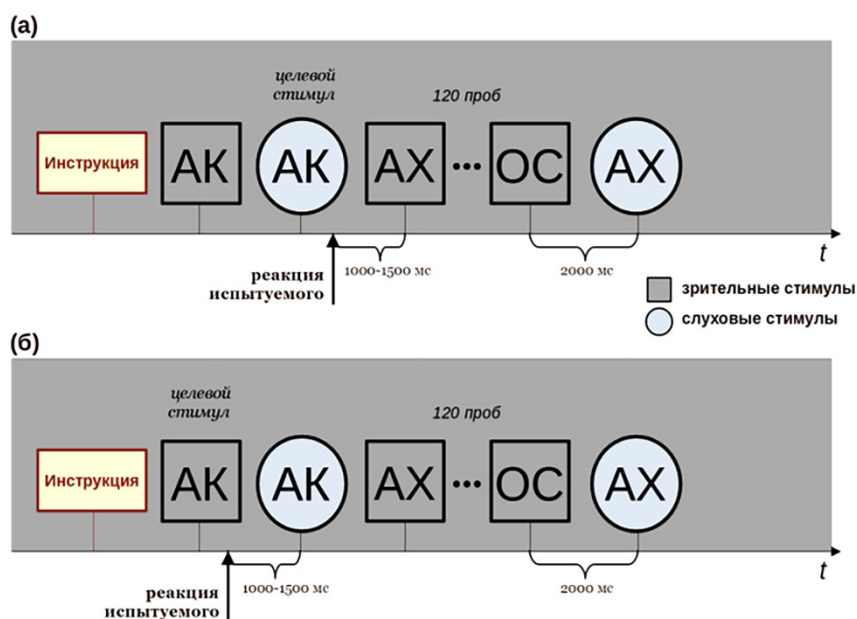


Рис. 1 Go-условие: пример последовательности событий в сессии со (а) слуховым и (б) зрительным целевым стимулом. Сочетания букв вписаны в квадраты с угловыми размерами $1.5^\circ \times 1.5^\circ$.

Запись и анализ ЭЭГ

В настоящей работе анализировались связанные с событием потенциалы мозга (ССП), регистрируемые в ответ на нецелевые зрительные и слуховые стимулы в блоках как со зрительным, так и со слуховым целевым (Go) сигналом.

Экспериментальная установка состояла из объединенных по протоколу TCP/IP двух компьютеров, один из которых использовался для предъявления экспериментальных задач, а другой был частью 128-канальной электроэнцефалографической системы EGI 300 (Electrical Geodesics, Inc.). Предъявление стимулов, регистрация моторных ответов испытуемого и запись ЭЭГ осуществлялись в автоматическом режиме. ЭЭГ регистрировалась с частотой оцифровки 250 Гц в частотной полосе 0.5–70 Гц от 128 электродов, расположенных на шлеме HydroCel GSN (HCGSN) с вертексным референтным электродом.

Первичная обработка ЭЭГ осуществлялась в программной среде «Brainstorm» (<https://neuroimage.usc.edu/brainstorm/>). После удаления сетевой наводки 50 Гц и последующей фильтрации в полосе частот 0.5 – 50 Гц индивидуальные записи ЭЭГ очищались от электроокулографических и электрокардиографических артефактов с помощью метода SSP (Signal-Space Projection). Другие артефакты выделялись экспериментатором на основе визуального анализа. Отрезки, содержащие артефакты, не входили в дальнейшую обработку. После первичной обработки ЭЭГ из индивидуальных записей извлекались фрагменты, привязанные по времени к четырём экспериментальным событиям:

1. предъявление нецелевого зрительного стимула («ОС») в блоке со слуховым целевым сигналом ([ak]);
2. предъявление нецелевого зрительного стимула («ОС») в блоке со зрительным целевым сигналом («АК»);
3. предъявление нецелевого слухового стимула ([os]) в блоке со зрительным целевым сигналом («АК»);
4. предъявление нецелевого слухового стимула ([os]) в блоке со слуховым целевым сигналом («АК»).

Извлекались фрагменты с латентностью 200 мс до предъявления и 600 мс после предъявления описанных выше стимулов. При анализе электрической активности использовался усредненный референт (average reference): из каждого канала вычиталось среднее арифметическое всех каналов. Полученные безартефактные фрагменты ЭЭГ усреднялись для вычисления ССП в 128 отведениях исходного шлема HCGSN, которые затем преобразовывались в 16 псевдоотведений, соответствующих 7 парам латерально-симметричных отведений (F3/4, F7/8, C3/4, P3/4, T3/4, T5/6, O1/O2) и двум сагиттальным отведениям (Fz, Pz) схемы 10-20. Сигналы 16 псевдоотведений формировались следующим образом (см. рис. 2). На шлеме HCGSN были выбраны 16 электродов, соответствующих указанным 16 отведениям схемы 10-20, и для каждого такого электрода выбирались 4 или 5 его ближайших соседей (выбор 4 или 5 соседних каналов определялся соображениями симметрии и компактности — выбранные электроды должны были располагаться на равном расстоянии от центрального). Сигналы, полученные в каждой группе каналов, усреднялись. Таким образом, в результате описанной процедуры исходная 128-канальная ЭЭГ была заменена на 16 псевдоотведений схемы 10-20, сигналы которых характеризовали ЭЭГ 16 групп реальных отведений на шлеме HCGSN.

Полученные данные анализировались с помощью дисперсионного анализа, выполненного по схеме с повторными измерениями (rmANOVA). Отдельно анализировались значения ССП для 7 пар симметрично расположенных латеральных псевдоотведений (F3/4, F7/8, C3/4, P3/4, T3/4, T5/6, O1/O2) и двух сагиттальных псевдоотведений (Fz, Pz). Переменными служили амплитуды компонентов ССП (в мкВ), регистрируемых в ответ на экспериментальные события, описанные выше. Путем наложения усредненных по всем испытуемым ССП в 16 псевдоотведениях, были определены латентности наиболее выраженных последовательных колебаний потенциала в ответ на зрительный (L1: 96 мс, L2: 192 мс, L3: 208 мс, L4: 312 мс, L5: 320 мс) и на слуховой стимул (L1: 92 мс, L2: 152 мс, L3: 212 мс, L4: 292 мс, L5: 384 мс).

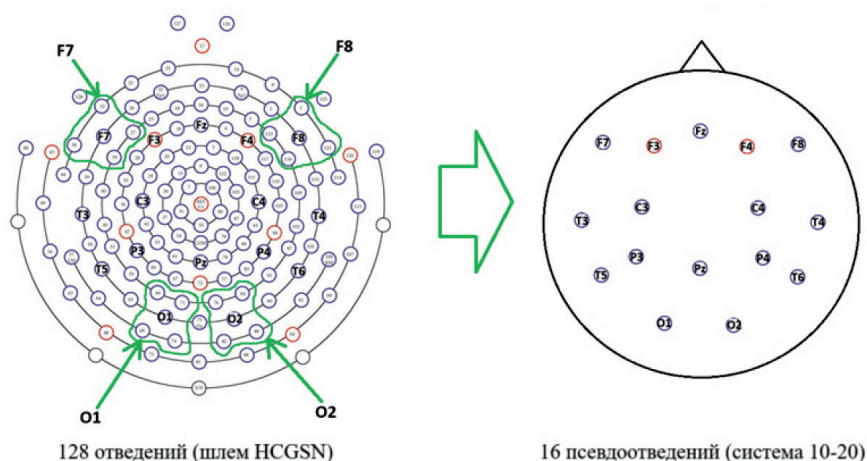


Рис. 2. Преобразование ССП в 128 отведениях исходного шлема HCGSN в 16 псевдоотведений, соответствующих 7 парам латерально-симметричных отведений (F3/4, F7/8, C3/4, P3/4, T3/4, T5/6, O1/O2) и двум сагиттальным отведениям (Fz, Pz) схемы 10-20

Для статистического анализа данных отдельно для зрительных и слуховых ССП использовался дисперсионный анализ с повторными измерениями по схеме ПОЛУШАРИЕ (левое, правое) $\times$ МОДАЛЬНОСТЬ ЦЕЛЕВОГО СТИМУЛА (зрительная, слуховая) $\times$ КАНАЛ (7 псевдоотведений) $\times$ ЛАТЕНТНОСТЬ (L1-L5). Для сагиттальных отведений использовалась схема МОДАЛЬНОСТЬ ЦЕЛЕВОГО СТИМУЛА (зрительная, слуховая) $\times$ КАНАЛ (Pz, Fz) $\times$ ЛАТЕНТНОСТЬ (L1-L5). Для оценки статистической значимости использовались консервативные многомерные критерии (лямбда Уилкса).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

ССП в ответ на зрительные нецелевые сигналы

Латерально-симметричные псевдоотведения

Дисперсионный анализ по схеме ПОЛУШАРИЕ $\times$ ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ $\times$ КАНАЛ $\times$ ЛАТЕНТНОСТЬ позволил обнаружить взаимодействие факторов ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ и ЛАТЕНТНОСТЬ [$F(4,16) = 3.588$, $p = 0.029$, $\eta_p^2 = 0.473$].

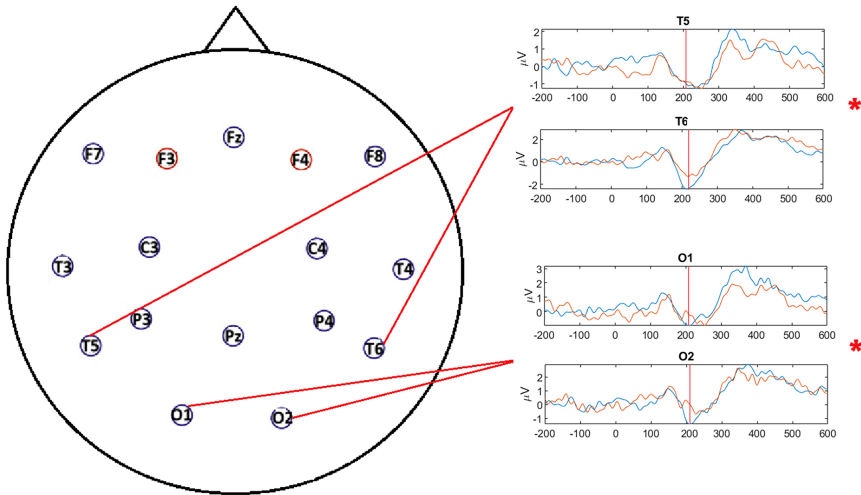


Рис. 3. ССП в ответ на зрительные нецелевые стимулы в сессии «GO» со зрительным целевым сигналом (синий график) и ССП в ответ на зрительные нецелевые стимулы в сессии «GO» со слуховым целевым сигналом (красный график) представлены в наложении отдельно для пар латерально-симметричных псевдоотведений O1/O2 и T5/T6. Красными звездочками отмечены каналы, для которых был обнаружен главный эффект фактора ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ. Красная линия отмечает латентность L3. Вдоль оси абсцисс отложена латентность (в мс); вдоль оси ординат – амплитуда в мкВ.

Дисперсионный анализ по схеме ПОЛУШАРИЕ $\times$ ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ $\times$ КАНАЛ, проведенный отдельно для каждой латентности, продемонстрировал значимое на уровне тенденции взаимодействие факторов ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ и КАНАЛ для латентности L3 [$F(6,14) = 2.781$, $p = 0.054$, $\eta_p^2 = 0.554$], что дало основание для сопоставления амплитуды ССП с латентностью L3 в условиях ожидания зрительного и слухового целевого сигнала отдельно для каждой пары латерально-симметричных псевдоотведений. Для пары **O1/O2** статистический анализ позволил обнаружить главный эффект фактора ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ [$F(1,19) = 8.117$, $p = 0.010$, $\eta_p^2 = 0.299$].

При этом негативность компонента ССП с латентностью L3 при ожидании зрительного целевого сигнала ($M = -1.152$ мкВ) оказалось больше, чем при ожидании слухового целевого сигнала ($M = -0.035$ мкВ; рис. 3). Для пары отведений T5/T6 был также обнаружен главный эффект фактора ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ [$F(1,19) = 5.792$, $p = 0.026$, $\eta_p^2 = 0.234$]. Негативность компонента ССП с латентностью L3 при ожидании зрительного целевого сигнала ($M = -1.627$ мкВ) была больше, чем при ожидании слухового сигнала ($M = -0.959$ мкВ; рис. 3).

Сагиттальные псевдоотведения

В сагиттальных псевдоотведениях дисперсионный анализ по схеме ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ $\times$ КАНАЛ $\times$ ЛАТЕНТНОСТЬ не выявил главного эффекта фактора ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ или значимого взаимодействия данного фактора с другими.

ССП в ответ на слуховые нецелевые сигналы

Латерально-симметричные псевдоотведения

Дисперсионный анализ по схеме ПОЛУШАРИЕ $\times$ ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ $\times$ КАНАЛ $\times$ ЛАТЕНТНОСТЬ позволил обнаружить взаимодействие факторов ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ и ЛАТЕНТНОСТЬ [$F(4,16) = 3.912$, $p = 0.021$, $\eta_p^2 = 0.494$], а также взаимодействие факторов ПОЛУШАРИЕ, ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ и ЛАТЕНТНОСТЬ [$F(4,16) = 3.100$, $p = 0.046$, $\eta_p^2 = 0.437$]. Дисперсионный анализ по схеме ПОЛУШАРИЕ $\times$ ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ $\times$ КАНАЛ, проведенный отдельно для каждой латентности, не выявил главного эффекта фактора ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ или взаимодействия данного фактора с другими.

Сагиттальные псевдоотведения

В сагиттальных псевдоотведениях дисперсионный анализ по схеме ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ $\times$ КАНАЛ $\times$ ЛАТЕНТНОСТЬ продемонстрировал значимое на уровне тенденции взаимодействие факторов ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ и КАНАЛ [$F(1,19) = 4.171$, $p = 0.055$, $\eta_p^2 = 0.180$], ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ и ЛАТЕНТНОСТЬ [$F(4,16) = 2.477$, $p = 0.086$, $\eta_p^2 = 0.382$], а также факторов ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ, КАНАЛ и ЛАТЕНТНОСТЬ [$F(4,16) = 2.665$, $p = 0.071$, $\eta_p^2 = 0.400$].

Дисперсионный анализ по схеме ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ $\times$ КАНАЛ, проведенный отдельно для каждой латентности, продемон-

стрировал значимое взаимодействие факторов ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ и КАНАЛ для латентности L4 [$F(1,19) = 9.980$, $p = 0.005$, $\eta_p^2 = 0.344$]. Затем было проведено сопоставления амплитуды ССП с латентностью L4 в условиях ожидания зрительного и слухового целевого сигнала отдельно для каждого из двух сагиттальных псевдоотведений. Для Fz дисперсионный анализ показал главный эффект фактора ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ [$F(1,19) = 9.100$, $p = 0.007$, $\eta_p^2 = 0.324$]. Негативность компонента ССП с латентностью L4 при ожидании слухового целевого сигнала ($M = -3.239$ мкВ) оказалось больше, чем при ожидании зрительного целевого сигнала ($M = -1.250$ мкВ; рис. 4).

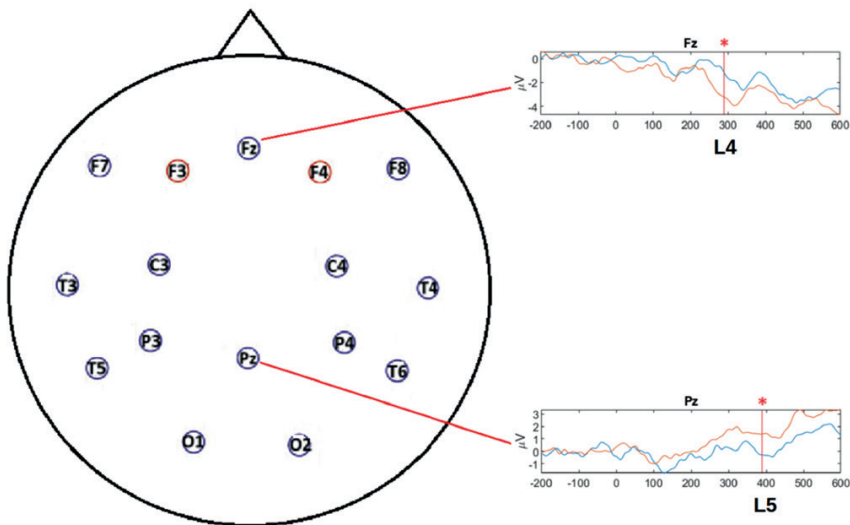


Рис. 4. ССП в ответ на слуховые нецелевые стимулы в сессии «GO» со слуховым целевым сигналом (красный график) и ССП в ответ на слуховые нецелевые стимулы в сессии «GO» со зрительным целевым сигналом (синий график) представлены в наложении отдельно для сагиттальных псевдоотведений Pz и Fz. Красными звездочками отмечены каналы, для которых был обнаружен главный эффект фактора ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ. Красные линии отмечают латентности L4 и L5. Вдоль оси абсцисс отложена латентность (в мс); вдоль оси ординат – амплитуда в мкВ.

Для латентности L5 также было обнаружено взаимодействие факторов ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ и КАНАЛ [$F(1,19) = 7.474$, $p = 0.013$, $\eta_p^2 = 0.257$]. Сопоставления амплитуды ССП с латентностью L5 в разных условиях преднастройки в псевдоотведении Pz продемонстрировало главный эффект фактора ОЖИДАЕМАЯ МОДАЛЬНОСТЬ [$F(1,19) = 4.513$, $p = 0.047$, $\eta_p^2 = 0.192$]. Амплитуда компонента ССП с ла-

тентностью L5 при ожидании слухового целевого сигнала ($M = 1.398$ мкВ) оказалась выше, чем при ожидании зрительного целевого сигнала ($M = -0.220$ мкВ; рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе представлена новая экспериментальная модель для исследования мозговой организации модально-специфического предвосхищающего внимания. В основу модели легла задача «Go/NoGo». С использованием зрительных и слуховых целевых и нецелевых стимулов, а также стимулов-ловушек удалось реализовать четыре экспериментальных условия для формирования избирательного ожидания или избирательного игнорирования стимулов разной сенсорной модальности. С целью проверки того, насколько данная модель подходит для изучения мозговой организации разных аспектов избирательного предвосхищающего внимания (подготовки к избирательному реагированию или избирательному торможению реакции), было проведено пилотное электроэнцефалографическое исследование с участием 20 подростков возрасте 13-15 лет.

Для оценки модально-специфической преднастройки анализировались ССП в ответ на нецелевые сигналы в четырех экспериментальных условиях: (1) предъявлении зрительного нецелевого стимула в блоке со слуховым целевым (Go) сигналом; (2) предъявлении зрительного стимула в блоке со зрительным целевым (Go) сигналом; (3) предъявлении слухового нецелевого стимула в блоке со зрительным целевым сигналом; (4) предъявлении слухового нецелевого стимула в блоке со слуховым целевым сигналом.

Результаты исследования продемонстрировали эффект сенсорной модальности сигнала, на котором необходимо концентрировать внимание в течение длительной монотонной деятельности в течение всего блока: амплитуда негативного компонента ССП с латентностью 208 мс в ответ на зрительные нецелевые стимулы была выше в условии с ожиданием зрительного Go-сигнала, чем в условии с ожиданием слухового Go-сигнала. Описанные различия наблюдались в зрительных сенсорно-специфических зонах (отведения O1/O2 и T5/T6). Для слуховых стимулов аналогичные различия были обнаружены при латентности 292 мс и 384 мс в зонах максимального ответа на слуховые сигналы (Pz и Fz; см., например, [8]). При этом ожидание слухового сигнала способствовало росту негативности с латентностью около 300 мс в лобном сагиттальном

отведении и росту позитивности с более поздней латентностью в теменном саггитальном отведении (около 400 мс). Полученные результаты свидетельствуют о том, что разработанная экспериментальная модель создает условия для формирования у испытуемых предвосхищения зрительных и слуховых сигналов и её можно использовать в дальнейших исследованиях мозговой организации избирательного ожидания и избирательного подавления стимулов разной сенсорной модальности.

Информация о финансовой поддержке. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bastiaansen M. C. M., Böcker K. B. E., Brunia C. H. M., de Munck J. C., Spekreijse H. Event-related desynchronization during anticipatory attention for an upcoming stimulus: A comparative EEG/MEG study // *Clinical Neurophysiology*. – 2001. – V.112. – №2. – P.393–403
2. Bressler S. L., Tang W., Sylvester C. M., Shulman G. L., Corbetta M. Top-down control of human visual cortex by frontal and parietal cortex in anticipatory visual spatial attention // *Journal of Neuroscience*. – 2008. – V.28. – №40. – P.10056–10061
3. Brunia C. H., Damen E. J. Distribution of slow potentials related to motor preparation and stimulus anticipation in a time estimation task // *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. – 1988. – V.69. – №3. – P.234–243.
4. Brunia C.H.M., van Boxtel G.J.M. Anticipatory attention to verbal and non-verbal stimuli is reflected in a modality-specific SPN // *Experimental Brain Research*. – 2004. – V.156. – №2. – P. 231–239.
5. Corbetta M., Shulman G. L. Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain // *Nature Reviews Neuroscience*. – 2002. – V.3. – №3. – P. 201–215.
6. Damen E. J., Brunia C. H. Changes in heart rate and slow potentials related to motor preparation and stimulus anticipation in a time estimation task // *Psychophysiology*. – 1987. – V.24. – №6. – P.700–713.
7. Fassbender C., Simoes-Franklin C., Murphy K., Hester R., Meaney J., Robertson I. H., Garavan H. The role of a right fronto-parietal network in cognitive control // *Journal of Psychophysiology*. – 2006. – V.20. – №4. – P.286–296.
8. Fogarty J.S. ERP Markers of Auditory Go/NoGo Processing / Doctor of Philosophy thesis // School of Psychology, University of Wollongong, 2020

9. Foxe J.J., Simpson G. V., Ahlfors S. P. Parieto-occipital approximately 10 Hz activity reflects anticipatory state of visual attention mechanisms // *Neuroreport.* – 1998. – V.9. – №17. – P.3929–3933.
10. Hahn E., Ta T. M., Hahn C., Kuehl L. K., Ruehl C., Neuhaus A. H., Dettling M. Test-retest reliability of attention network test measures in schizophrenia // *Schizophrenia Research.* – 2011. – V.133. – №1–3. – P.218–222.
11. Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information // *Trends in Cognitive Sciences.* – 2012. – V.16. – №12. – P. 606–617.
12. Machinskaya, R. I. Selective prestimulus attention: Two kinds of processing – two types of brain cortex functional organization / C. Taddei-Ferretti, C. Musio (Eds.) // *Downward processes in the perception representation mechanisms. Proceedings of the International School of Biocybernetics* (pp. 471–475). – Singapore: World Scientific, 1998
13. Mozolic J. L., Joyner D., Hugenschmidt C. E., Peiffer A. M., Kraft R. A., Maldjian J. A., Laurienti P. J. Cross-modal deactivations during modality-specific selective attention // *BMC Neurology.* – 2008. – V.8. – P.35.
14. Näätänen R. Attention and brain function. – Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1992.
15. Pfurtscheller G., Lopes da Silva F.H. Event-Related Desynchronization. *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* (Vol. 6). – Elsevier, 1999
16. Posner M.I., Fan J. Attention as an organ system / J.R. Pomerantz (Ed.) // *Topics in Integrative Neuroscience: From Cells to Cognition.* – Cambridge: Cambridge University Press, 2008. – P. 31–61.
17. Posner M.I., Snyder C.R., Davidson B.J. Attention and the detection of signals // *J Exp Psychol.* – 1980. – V.109. – No2. – P.160-174.
18. Simpson G. V., Weber D. L., Dale C. L., Pantazis D., Bressler S. L., Leahy R. M., Luks T. L. Dynamic activation of frontal, parietal, and sensory regions underlying anticipatory visual spatial attention // *Journal of Neuroscience.* – 2011. – V.31. – №39. – P.13880–13889.
19. Talalay I.V., Kurgansky A.V., Machinskaya R.I. Alpha-band functional connectivity during cued versus implicit modality-specific anticipatory attention: EEG-source coherence analysis // *Psychophysiology.* – 2018. – V. 55. – №12. – P.e13269.
20. Talalay I.V., Kurgansky A.V., Machinskaya R.I. Alpha-band functional connectivity during modality-specific anticipatory attention in children aged 9–10 years: EEG-source coherence analysis // *Zh Vyssh Nerv Deiat im I P Pavlova.* – 2021. – V.71. – №4. – P.547–562.