

У. В. Бородина

Использование метода вызванных потенциалов для оценки параметров стимула

Проведено количественное сравнение вызванных потенциалов (ВП), полученных в ответ на предъявление монохромных вспышек разной интенсивности. Установлено, что существуют различия паттернов в ответах на стимулы разной интенсивности. Зоны различий между вызванными потенциалами, зарегистрированными при предъявлении стимулов разной интенсивности, носят фазный характер. Обсуждается возможность цикличности процессов обработки стимулов.

Ключевые слова: зрительные вызванные потенциалы, интенсивность стимула, информация, цикличность обработки информации.

U. V. Borodina

Use of the Evoked Potentials Method to Estimate Parameters of the Stimulus

We have compared quantitatively evoked potentials (EP) appeared after monochrome flashes of various intensity. We have found the existence of different patterns as a result of stimuli of different intensity. Regions of differences for the evoked potentials that occur as a result of stimuli by different intensity are phasic in nature. We discuss a possibility of a cyclic character for stimuli processing.

Keywords: visual evoked potential, intensity of the stimulus, information, a cyclic character for information processing.

Введение

Вызванные потенциалы (ВП) представляют собой колебания биопотенциалов мозга, возникающие в ответ на стимуляцию афферентных систем [2].

В силу того, что характеристики ВП коррелируют с физическими параметрами стимула, с семантической стороной того же стимула и с некоторыми видами психического состояния индивида, ВП стали трактоваться как феномен, отражающий процессы приема и переработки информации [3]. Следуя гипотезе о механизмах волнового кодирования информации в структурах мозга, можно полагать, что волновая конфигурация вызванного потенциала имеет некоторую специфичность [4], [7]. Эта специфичность возможна не для целого вызванного потенциала, а лишь для определенных временных зон, где происходит синхронизация нейронных популяций. Данные зоны должны перемежаться зонами, в которых различия маскируются. Эту идею мы проверили в эксперименте, где в качестве стимулов предъявляли световые вспышки одного цвета, но разной интенсивности.

Методика

В исследованиях приняли участие здоровые испытуемые в количестве 41 человека (33 мужчин и 8 женщин) в возрасте от 19 до 25 лет, в большинстве

студенты ЯрГУ. Во время эксперимента они находились в свето- и звукоизолированном помещении в положении сидя в удобном кресле. Источником световых стимулов служили светодиоды силой света около 900 мккд или энергией около 1 мкДж зеленого и красного цветов и фотостимулятор «Орион» с газоразрядной лампой-вспышкой с энергией 0,3 Дж и светофильтрами подобных цветов. Светодиоды располагались на расстоянии 150 мм, газоразрядная лампа-вспышка находилась на расстоянии 1,5 м от глаз испытуемого. Ему давалась инструкция фиксировать взгляд в центре стимульного поля. У испытуемых регистрировали электроэнцефалограмму и реактивные потенциалы в центральной затылочной области (O_2) при положении активного электрода выше зрительного бугра на 1 см. Индифферентный электрод накладывали на мочку уха. Стимулы предъявляли с интервалом в 1 секунду. Время предъявления – 0,05 с. Перерыв между сериями был 3–5 минут. В первой серии в качестве источника светового стимула использовали светодиод зеленого цвета, во второй серии – светодиод красного цвета, в третьей – лампа-вспышка с зеленым светофильтром и в четвертой – лампа-вспышка с красным светофильтром. Длительность каждой записи составляла 1 минуту. Биопотенциалы усиливали на электроэнцефалографе ЭЭГШ (RTF) с верхней полосой пропускания 30 Гц и постоянной времени 0,1 с. По-

тенциалы преобразовывали 12-разрядным АЦП с частотой дискретизации 250 Гц и записывали на жесткий диск компьютера. Эпоха анализа ВП была 512 мс. Для анализа и усреднения использовали не менее 57 одиночных ответов на каждый из типов стимулов. Латентный период компонентов усредненных ВП вычислялся как время от момента подачи стимула до максимума каждого компонента. Амплитуда компонентов усредненных ВП рассчитывалась от базовой линии до максимума каждого компонента. Для оценки статистической значимости различий использовали критерий Вилкоксона (Wilcoxon Matched Pairs Test, пакет статистических программ STATISTICA 6.0) и гамма-критерий, предложенный А. Ю. Левиным [5] (оригинальные компьютерные программы для применения гамма-критерия при сравнении единичных ВП были разработаны В. В. Майоровым и И. Ю. Мышкиным).

Результаты исследования

Визуальный анализ усредненных ВП при предъявлении стимулов разной интенсивности показал различие в форме ВП у одних и тех же людей. При относительно сходном компонентном составе усредненных вызванных потенциалов на стимулы большей и меньшей интенсивности различия касались амплитудных и временных характеристик. Для количественного анализа параметров ВП, длительность записи которого составляла 512 мс, нами были выделены 5 компонентов: N2-N4 и P2-P4. Компоненты ответов, полученных межгрупповым усреднением, зарегистрированных в О₂ отведении на световой стимул зеленого цвета энергией 0,3 Дж и около 1 мкДж представлены на рис. 1.

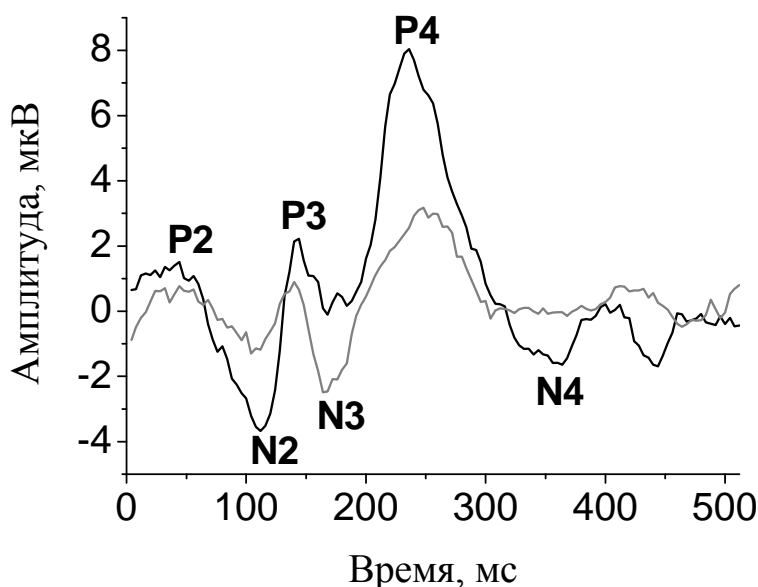


Рис. 1. Зрительные ВП, полученные межгрупповым усреднением ВП на стимул зеленого цвета энергией 0,3 Дж (черная линия) и около 1 мкДж (серая линия)

Значения амплитуды (А) и латентного периода (ЛП) каждого компонента высчитывали в ВП разной интенсивности для зеленого и красного цветов. Для оценки различий между значениями компонентов ВП отдельных испытуемых нами был использован Т-критерий Вилкоксона.

Существенных различий между значениями латентного периода ВП, вызванного зеленым цветом в условиях стимулирования диодом и лампой, не обнаружено. Значимые различия между значениями латентного периода ВП, вызванного красным цветом в условиях стимулиро-

вания диодом и лампой, наблюдались у компонента P3. Средние значения ЛП P3 для диода составили $127 \pm 4,01$ мс, а для газоразрядной лампы – $136 \pm 3,47$ мс, что является статистически достоверным различием на уровне значимости $p < 0,05$.

Значимые различия между значениями амплитуды ВП, зарегистрированными при предъявлении стимулов разной интенсивности, наблюдались у компонентов: N2, N3, P4 для красного и зеленого цветов. Средние значения амплитуды компонентов N2, N3, P4 ВП, вызванного в условиях стимулирования диодом зеленого

цвета, составили $2,42 \pm 0,35$, $3,60 \pm 0,53$, $4,31 \pm 0,44$ мкВ, а для газоразрядной лампы – $5,02 \pm 0,59$, $7,13 \pm 0,80$, $9,03 \pm 0,84$ мкВ соответственно, что является статистически достоверным различием на уровне значимости $p < 0,001$. Средние значения амплитуды компонентов N2, N3, P4 ВП, вызванного в условиях стимуляции диодом красного цвета, $2,48 \pm 0,32$, $3,50 \pm 0,51$, $5,00 \pm 0,51$ мкВ, а для газоразрядной лампы – $4,29 \pm 0,48$, $5,57 \pm 0,73$, $6,66 \pm 0,71$ мкВ соответственно, что является статистически достоверным различием на уровне значимости $p < 0,01$ для P4 и $p < 0,05$ для N2 и N3. Для N2, N3, P4 компонентов характерна следующая закономерность: увеличение амплитуды в связи с увеличением интенсивности.

Для выявления зон достоверных различий в вызванных потенциалах каждого испытуемого в зависимости от интенсивности стимула был использован гамма-критерий, предложенный А. Ю. Левиным [5]. Критерий работает с еди-

ничными (оригинальными) ВП и позволяет оценить степень различий двух векторных выборок (в дискретном времени ВП представляет собой 128-мерный вектор). Достоинство метода состоит в возможности количественной оценки различий с заданным уровнем значимости. На рис. 2 приведен пример сравнения гамма-критерием ВП разной интенсивности. Достоверными считались различия между двумя ВП, при сопоставлении которых значение критерия было равно или превышало 2,783 (95 %-й уровень). При сравнении ВП на стимулы разной интенсивности с помощью гамма-критерия была выявлена 100 % встречаемость зон различий в ВП в группе испытуемых, состоящей из 41 человека. Зоны различий носили индивидуальный характер. Чаще всего амплитудные различия встречаются в диапазоне 100–280 мс.

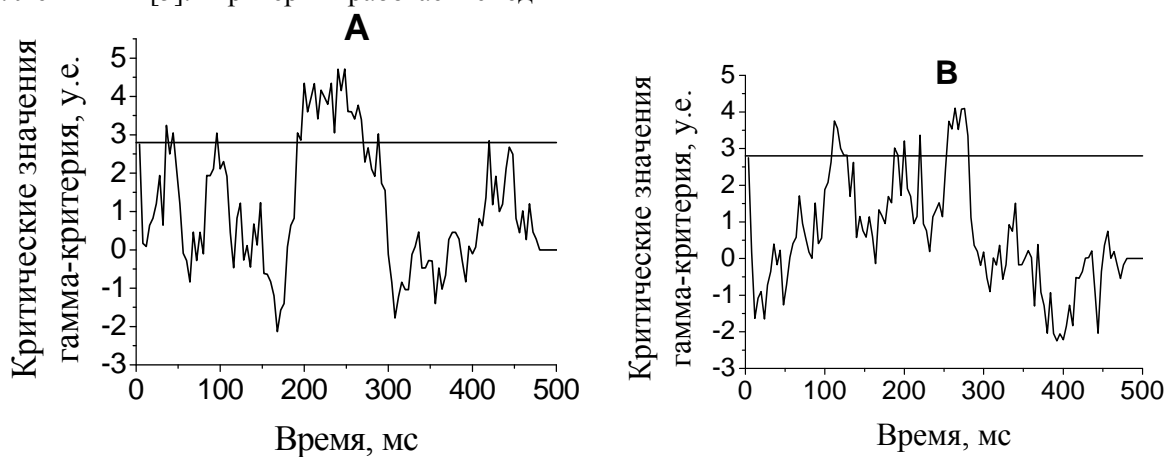


Рис. 2. Динамика изменения критических значений при сравнении ВП гамма-критерием. Сравниваются ВП, зарегистрированные в O_2 отведении на световые стимулы энергией 0,3 Дж и около 1 мкДж в условиях стимуляции зеленым (А) и красным (В) цветами.

Для выявления зон достоверных различий для группы испытуемых мы применили Т-критерий Вилкоксона. Графические результаты сравнения усредненных ВП на предъявление световой вспышки разной интенсивности как для зеленого, так и для красного цветов Т-критерием Вилкоксона представлены на рис. 3. График позволяет увидеть, что в расположении зон различий наблюдаются периодичность. При этом периодичность уровня значимости при сравнении амплитуды ВП разной интенсивности отмечается как для красного, так и для зеленого цветов.

При сравнении усредненных ВП 41 человека, записанных на предъявление световой вспышки зеленого цвета меньшей и большей интенсивно-

сти, статистически достоверно различались 2 зоны. Первая зона находилась в диапазоне от 216 до 240 мс (216–220 мс при $p < 0,05$; 224–232 мс при $p < 0,01$; 236–240 мс при $p < 0,05$); вторая – в диапазоне 432–444 мс $p < 0,05$ (для 436 мс $p < 0,08$). При сравнении усредненных ВП на предъявление световой вспышки красного цвета разной интенсивности статистически достоверно различались 3 зоны. Первая зона находилась в диапазоне от 108 до 120 мс (108–112 мс при $p < 0,05$; 116 мс при $p < 0,01$; 120 мс при $p < 0,05$); вторая зона находилась в диапазоне 240–276 мс при $p < 0,05$; третья зона находилась в диапазоне 300–320 мс (300 мс при $p < 0,05$; 304 мс при $p < 0,01$; 308–320 мс при $p < 0,05$).

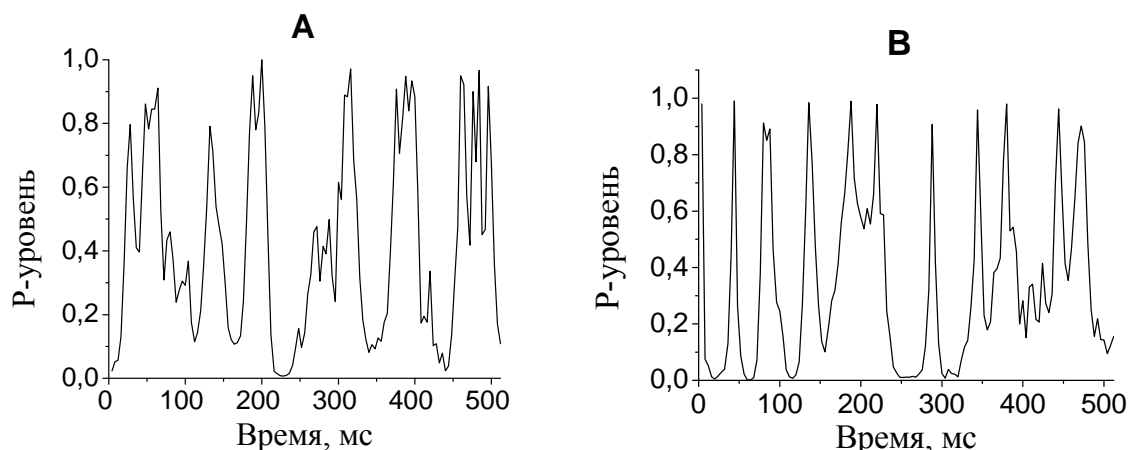


Рис. 3. Показатели уровня значимости p при сравнении по Т-критерию Вилкоксона амплитуды усредненных ВП, зарегистрированных на стимулы 0,3 Дж и 1 мкДж в O_2 отведении с течением времени для зеленого (А) и красного (В) цветов

Обсуждение результатов

Наряду с качественным анализом, который строится на выделении компонентов ВП и оценке их параметров, мы применили количественные методы обработки результатов регистрации ВП, которые позволили нам оценить чувствительность отдельных зон ответа на параметры стимула без выделения компонентов ВП. Результаты анализа вызванной активности позволяют считать, что в конфигурации ВП отражается специфичность параметров стимула. Доказательством чувствительности конфигурации ВП к параметрам стимула выступает, во-первых, зависимость компонентов ВП к интенсивности стимула; во-вторых, существование зон различий в волновой структуре вызванного потенциала на стимулы разной интенсивности.

Общие вопросы зависимости паттерна ВП и амплитуды отдельных компонентов зрительных и слуховых вызванных потенциалов от интенсивности стимуляции изучались, например, в работах [1], [8]. В нашем исследовании качественный анализ показал, что статистические различия между значениями амплитуды ВП, зарегистрированных при предъявлении стимулов разной интенсивности, наблюдались у компонентов N2, N3, P4 для красного и зеленого цветов.

Мы предполагаем, что увеличение амплитуды ВП в связи с повышением интенсивности внешнего раздражителя, возможно, свидетельствует о большем количестве возбужденных нервных элементов по сравнению с тем их количеством, которое прореагировало на стимулы меньшей интенсивности. Чем больше энергия стимула, тем, очевидно, большее количество нервных элементов будет вовлечено в ответ. Наше предположение согласуется с гипотезой Н. Н. Васи-

левского, что передача информации о силовой характеристике сигнала для сильных раздражителей обеспечивается числом активируемых нейронов, влияя на амплитуду ВП [1].

Применение количественных методов в обработке результатов регистрации ВП позволило показать, что волновая структура вызванного потенциала имеет некоторую специфичность. Эта специфичность характерна для определенных зон ВП. Конфигурация ВП чувствительна к интенсивности стимула. Существуют зоны различий в волновой структуре ВП на стимулы разной интенсивности. Зоны различия носят индивидуальный характер, но наиболее часто амплитудные различия между ВП разной интенсивности встречаются в диапазоне 100–280 мс, при общей продолжительности записи ответа 512 мс. Анализ полученных нами результатов показал периодичность в расположении зон различий у ВП разной интенсивности, которая характерна для разных цветов: зеленого и красного, что, скорее всего, указывает на универсальный механизм кодирования информации мозгом.

Причину проявлений фазных различий в волновой структуре ВП мы объясняем в русле предложенной нелинейной модели нейронной сети [6]. Согласно модели стимул вызывает синхронизацию активности нервных элементов. В нейронной популяции при этом взаимодействуют два процесса: существовавшая ранее собственная периодическая активность и активность, связанная с реакцией на стимул. Взаимодействие этих процессов дает циклическую активацию, которая отражается в колебаниях ВП. Паттерн этой активности отражает специфику действия стимула.

Рассматривая вызванные потенциалы как отображение процессов обработки информации моз-

гом, можно полагать, что процессы обработки внешних стимулов происходят циклически. Об этом свидетельствует выявленная периодичность в расположении зон различий при сравнении ВП при регулируемом варьировании параметров стимула.

Выводы

1. Обнаружено, что конфигурация ВП отражает физическую характеристику стимула. Ам-

плитуда компонентов зависела от интенсивности стимула.

2. Существуют различия паттернов на стимулы разной интенсивности. Различия наблюдаются не по всей конфигурации ВП, а только на отдельных его участках.

3. Зоны различий носят индивидуальный характер. Амплитудные различия для ВП при разной интенсивности стимула характерны для диапазона 100–280 мс.

Библиографический список

1. Василевский, Н. Н. Частотная и силовая характеристика суммарного вызванного ответа в сопоставлении с динамикой импульсной активности нейронов [Текст] / Н. Н. Василевский // Механизмы вызванных потенциалов мозга : сб. науч. тр. / Ленинград, Ленинградский университет. – Ленинград, 1971. – С. 80–88.
2. Зенков, Л. Р., Ронкин, М. А. Функциональная диагностика нервных болезней : руководство для врачей [Текст] / Л. Р. Зенков, М. А. Ронкин. – Москва : МЕДпресс-информ, 2011. – 488 с.
3. Иваницкий, А. М. «Проблема «сознание и мозг» и искусственный интеллект», Всероссийская науч.-техническая конф. (2006 ; Москва). Научная сессия МИФИ-2006. VIII Всероссийская конференция «Нейроинформатика-2006», 24–27 янв. 2006 г. [Текст] : [материалы лекций школы-семинара «Современные проблемы нейроинформатики»] / отв. ред. Ю. В. Тюменцев. – Москва : МИФИ, 2006. – 244 с.
4. Лебедев, А. Н. Нейронный код [Текст] / А. Н. Лебедев // Психология. Журнал Высшей школы экономики. – 2004. – № 3. – С. 18–36.
5. Левин, А. Ю. О состоятельном многомерном непараметрическом критерии однородности [Текст] / А. Ю. Левин // Успехи математических наук. – 1993. – № 6. – С. 155–156.
6. Майоров, В. В., Мышкин, И. Ю. Математическое моделирование нейронной сети на основе уравнения с запаздыванием [Текст] / В. В. Майоров, И. Ю. Мышкин // Математическое моделирование. – 1990. – № 11. – С. 64–76.
7. Мышкин, И. Ю., Майоров, В. В. Оценка различий вызванных корковых потенциалов на зрительные стимулы человека [Текст] / И. Ю. Мышкин, В. В. Майоров // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 1996. – № 3. – С. 488–495.
8. Kaskey, G. B. Relationships between stimulus intensity and amplitude of visual and auditory event related potentials G. B. Kaskey, L. F. Salzman, R. Klorman, H. L. Pass // Biological psychology – 1980. №2. – P. 115–125.