

# МЕТОД ДИПОЛЬНОГО АНАЛИЗА ВЫЗВАННОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА В ОЦЕНКЕ ДИНАМИКИ И КИНЕТИКИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

Михайлова Е.С., Шевелев И.А.

Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва

О динамическом исследовании пространственного распределения функций мозга говорил еще И.П.Павлов: «...будущие достижения науки позволят увидеть движение по коре мозга основных нервных процессов – возбуждения и торможения». Если обратиться к истории возникновения методов функционального картирования мозга, то первым (40- начало 50-х годов) была электроэнцефалоскопия, основанная на многоканальном (до 100 точек) отведении биопотенциалов от поверхности мозга (Ливанов, 1960; Walter, 1966). В настоящее время картирование мозга по критерию его электрической активности или характеристик магнитного поля, технически более совершенные, чем электроэнцефалоскопия, занимают важное место в батарее методов качественной и количественной оценки динамики и кинетики функций мозга.

В настоящем сообщении представлены результаты картирования мозга по показателю динамики локализации, или смещения, эквивалентных источников волн вызванного потенциала мозга человека. Локализация источников ВП основана на решении обратной задачи электростатики: по данным многоканальной регистрации биопотенциалов мозга рассчитывают трехмерное положение, мощность и вектор диполей, создающих на скальпе человека распределение потенциалов, наилучшим образом совпадающее с экспериментальным. При этом методом нефиксированных источников в мозге можно обнаружить смещающиеся или движущиеся диполи [He, Musha, 1987]. Между тем преобладающим стал метод «фиксированных» диполей [Scherg, 1990], хотя он элиминирует их возможную кинетику. В отличие от этого локализация движущегося диполя (его «трассирование» - «dipole tracing») [Musha, Homma, 1990] может быть адекватным приемом исследования динамики активации мозга. Конкретной задачей данной работы стало исследование динамической трехмерной локализации дипольных источников ранних компонентов зрительного ВП при наблюдении изображений простых зрительных стимулов - полосок и крестов, которые являются базисными признаками большинства объектов. Анализировали показатели смещения по мозгу диполей ВП: форму траекторий, их координаты и протяженность во времени и пространстве.

## *Методика.*

У 18 взрослых (18–21 лет) здоровых испытуемых проводили 34-канальную регистрацию ЭЭГ мозга. Стимулами служили горизонтальные или вертикальные полоски, либо крестики, которые испытуемый должен был просто наблюдать. На трехслойной сферической модели головы для локализации источников последовательных временных фрагментов ВП решали обратную задачу ЭЭГ с помощью двухдипольной модели (программа «Neocortex-Pro»). Трехмерную динамическую локализацию эквивалентных токовых диполей рассчитывали с шагом 1 мс.

В настоящей работе приведены данные по локализации каудального диполя в областях стриарной и экстрастриарной зрительной коры, в интервале 50-200 мс от начала стимуляции. Это соответствует развитию в ВП волновых комплексов N1, P1 и N2. Для 260 траекторий проведен анализ типов траектории смещения диполей.

(Траектория ЭТД – это линия, описывающую его последовательные положения в трехмерном пространстве мозга с шагом 1 мс.) Проводили качественную классификацию типов траекторий, определяли время от начала стимула, длительность траекторий и координаты X, Y, Z их начала и конца. Оценивали смещение диполя в трехмерном пространстве за 1 мс:  $\Delta R = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$ , где  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  – смещения по соответствующим осям.

### *Результаты*

Основные полученные результаты можно свести к следующим.

1. Во время развития вызванного потенциала мозга человека на изображения горизонтальных, вертикальных полосок и составленных из них крестов решением обратной задачи ЭЭГ с шагом 1 мс в двухдипольной сферической модели головы выявляется последовательное смещение по мозгу эквивалентных токовых диполей волн ВП.

2. Движение диполя, локализованного в затылочной коре, происходит преимущественно по дугообразной траектории (75.8 % случаев), а ее длительность сравнительно стандартна (около 25 мс) и достоверно не связана ни с фазой вызванного потенциала, ни с типом стимула.

3. По мере развития ВП типично (95 % случаев) развитие четырех последовательных траекторий ЭТД, которые соответствуют последовательным временным фрагментам ВП и все более приближаются к средней линии головы.

4. Между первой и второй траекториями ЭТД происходит типичный (85% случаев) «скачок» их координат, который проявляется в кратковременном резком и достоверном смещении диполя из латерального в медиальное положение. По времени этот скачок совпадает с переходом волны позитивной волны P1 в негативность N1, в районе 110-120 мс после начала стимула

5. При анализе совокупности координат «движущихся» диполей затылочной коры выявлены зоны предпочтительного «посещения», которые чередуются с зонами сниженной вероятности появления диполя. Найдены две четкие «узловые точки» преимущественного «посещения» движущимися диполями - локальные зоны с объемом 1-2 см<sup>3</sup>, которые локализованы в 5-6 см каудальнее средней линии головы. Первая локализована в правом полушарии в 6-7 см от средней линии головы, вторая расположена рядом со средней линией головы с небольшим (-1 см) смещением в левое полушарие. Локализация центра, пространственный паттерн и вес этих зон достоверно связаны с типом стимула и меняются в разные периоды развития вызванного потенциала.

### *Обсуждение*

Метод «движущегося диполя» («dipole-tracing method») был апробирован при локализации разрядов от глубинных электродов с МРТ контролем; показано совпадение дипольных и МРТ оценок [Nakajima et al., 1990]. Между тем, прямого описания и анализа траекторий смещения по мозгу диполей волн ВП во время его развития в доступной нам литературе мы не обнаружили, хотя в иллюстрациях ряда статей этот эффект можно увидеть.

Наши данные о смещении диполей сначала в медиальном, а затем в латеральном направлении также совпадают со сведениями, полученными при сочетании методов фиксированных диполей (BESA) и фМРТ [Di Russo et al., 2001], хотя в данной работе этот феномен не обсуждается.

Достаточно стандартная для разных испытуемых и стимулов длительность траекторий, по-видимому, связана с периодичностью процессов, которая ранее

показана нами для динамической локализации диполей фонового альфа-ритма [Шевелев, Барк, 2002].

Обнаруженный в работе сдвиг по мозгу дипольных источников волн ВП, как нам представляется, может быть интерпретирован, во-первых, как отражение реального смещения по мозгу участков его активации. Во-вторых, этот сдвиг может определяться перераспределением мощности статичных активационных очагов. Например, преимущественно правополушарная локализация траекторий в затылочных долях, несомненно свидетельствует не столько об отсутствии активации симметричных зон левого полушария, сколько о преобладании активации справа. К сожалению, более детальное неспекулятивное обсуждение этих механизмов пока невозможно.

Наблюдавшееся во всем интервале анализа движение диполя сначала из латеральных в медиальные отделы, а затем – в обратном направлении можно интерпретировать как отражение процессов возврата («re-entering») сигналов в зрительной коре [Иваницкий и др., 1980; Woldorff et al., 2002].

Природа обнаруженного нами «скачка» диполя пока недостаточно ясна. Возможно, он связан с появлением нового мощного очага активации мозга в отделах коры, расположенных более медиально. Вместе с тем, резкое снижение коэффициента дипольности во время скачка может быть отражением перехода от генерации в коре ПСП к импульсной передаче сигнала по аксонам корковых нейронов, что, как известно, практически не вносит вклад в суммарные потенциалы мозга.

Появление скачка на восходящем фронте волны P1, когда она переходит в волну N1, хорошо соотносится с данными о различиях в локализации источников ранней и поздней частей волны P1 [Di Russo, et al., 2001]. Функционально скачок может быть связан с совпадающим с началом волны N1 усложнением переработки зрительной информации, началом идентификации образа и большей активацией симметричных зон левого полушария.

Таким образом, этот метод картирования с высоким временным разрешением описывает динамику смещения зоны активации внутри коры мозга, которая определяет распределение потенциала по коре и его изменение во времени. Его несомненным достоинством является высокое временное разрешение и возможность проследить во времени траекторию смещения зоны преимущественной активации. В совокупности с другими методами картирования он позволяет получить ценнейшую информацию о работе живого мозга, распределении его функций во времени и пространстве.

Работа поддержана Грантом РФФИ 08-04-01382 и программой ОВН.