

**ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ (ПСИХИЧЕСКОЙ)
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

УДК 612.821.6

**ДИПОЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ИСТОЧНИКОВ ПОЗДНИХ КОМПОНЕНТОВ
ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ В ВЕРБАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ
НА ИНТЕРМОДАЛЬНОЕ ВНИМАНИЕ И ПАМЯТЬ У ЧЕЛОВЕКА**

© 2005 г. **Е. В. Мнацаканян, И. Р. Ильюченко, Г. А. Иваницкий, А. М. Иваницкий**

*Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва,
Центр исследований мозга и реабилитации Neuron, Куопио, Финляндия,
e-mail: mnazak@aha.ru*

Поступила в редакцию 18.05.2004 г.

Принята в печать 04.10.2004 г.

Целью настоящего исследования было определение структур мозга, вовлеченных в процессы интермодального внимания и памяти. Для этого были построены дипольные модели для разностных волн вызванных потенциалов, записанных в тестах с речевыми стимулами и в пассивном контроле. Модели создавались независимо для каждой из шести разностных волн, полученных при разных вариантах сочетаний экспериментальных условий. Большинство источников локализовалось в височных или лобных областях. Показано, что различия в вызванной активности мозга между разными условиями данного эксперимента на отрезке 450–850 мс связаны в основном с изменением активности гиппокампа и прилегающих областей.

Ключевые слова: эквивалентный дипольный источник, избирательное внимание, память, вызванные потенциалы мозга, речевые сигналы.

**Dipole Source Models for the Late ERP Components in Verbal Tasks with Divided
Intermodal Attention and Memory in Humans**

E. V. Mnatsakanian, I. R. Ilyutchenok, G. A. Ivanitsky, A. M. Ivanitsky

*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow,
Brain Research and Rehabilitation Center Neuron, Kuopio, Finland
e-mail: mnazak@aha.ru*

In this paper we aimed at studying brain structures involved in intermodal attention and memory processes. This was accomplished by dipole modeling of the difference waves of event-related potentials recorded during the performance of verbal tasks and in the control condition. The models were constructed independently from each other for six difference waves obtained by subtracting different experimental conditions. The majority of equivalent sources were located in temporal and frontal areas. The differences in the evoked activity observed between task conditions in the interval from 450 to 850 ms are mainly related to variations in the activity of the hippocampus and adjacent structures.

Key words: equivalent dipole source, selective attention, memory, brain evoked potentials, verbal signals.

Метаболические методы, такие как позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) или функциональный ядерно-магнитный резонанс (фЯМР), позволяют определить активные области мозга с большой точностью, но имеют относительно низкое временное разрешение. Восстановление эквивалентного дипольного источника по потенциалу, записанному с поверхности скальпа, не дает таких точных анатомических результатов. Тем не менее результаты такой локализации были достаточно хорошо подтверждены при комбинировании их с ПЭТ или фЯМР [4, 11]. Пространственно-временные многодипольные модели источников позволяют восстановить топографию активных областей мозга, а также их динамику при когнитивных процессах [10].

В настоящей работе метод дипольного моделирования источников применялся для определения структур мозга, предположительно участвующих в селекции информации для последующего запоминания в условиях, когда речевые сигналы одновременно поступали по зрительному и слуховому каналам. Вызванные потенциалы (ВП), использованные в нашем исследовании, были получены в экспериментах, уже представленных в работах [2, 3]. Эти работы посвящены изучению интермодального избирательного внимания и памяти на основании анализа изменений в ВП, записанных с поверхности головы испытуемых [2]. В поздних компонентах ВП (400–800 мс), связанных с функцией памяти, были выявлены различия, обусловленные инструкцией запоминать или игнориро-

вать слова, которые поступали по одному из двух конкурирующих каналов (зрительная и слуховая модальности). На основании этих исследований была выдвинута гипотеза о том, что селекция вербальных сигналов происходит путем блокады передачи нерелевантной информации на структуры гиппокампа. В работе [3] было также проведено сопоставление результатов сходных экспериментов с применением методов ВП и ПЭТ.

МЕТОДИКА

Испытуемые, стимулы и постановка задачи. Исследование проведено на 11 здоровых праворуких испытуемых в возрасте от 19 до 45 лет (6 женщин и 5 мужчин). Задачей испытуемых было смотреть на экран монитора, на котором предъявляли слова, и одновременно слушать слова, звучащие из компьютерных колонок. При параллельном предъявлении звуковых и зрительных стимулов в эксперименте было четыре последовательных задания: смотреть и слушать (К); запоминать все предъявляемые слова (ВЗС); запоминать только слова, предъявляемые на мониторе (ВЗ); запоминать только слова, предъявляемые через колонки (ВС). Использовали слова из 7–10 букв, по 120 предъявлений в каждом задании. Начало предъявлений зрительных и звуковых стимулов совпадало. Интервал между предъявлениями стимулов – 4.8 ± 0.2 с.

Запись и предварительная обработка электрической активности мозга. Регистрацию ЭЭГ проводили по 19 отведениям в соответствии с системой 10–20, при фильтрах 0.3–70 Гц. Соединенные между собой референтные электроды находились на мочках ушей. Для анализа использовали записи ЭЭГ, с момента 110 мс до подачи стимула и в течение 900 мс после стимула. Подробное описание методики записи и анализа ВП дано в работе [2]. Единичные реализации усреднялись по отдельным заданиям (условиям) для каждого испытуемого, а затем по всем испытуемым. Для каждого испытуемого были получены разностные кривые ВП (РВП) для всех возможных сочетаний пар условий, всего шесть РВП, которые затем также усреднялись по группе. Усредненные ВП дополнительно отфильтровывались от частот выше 15 Гц.

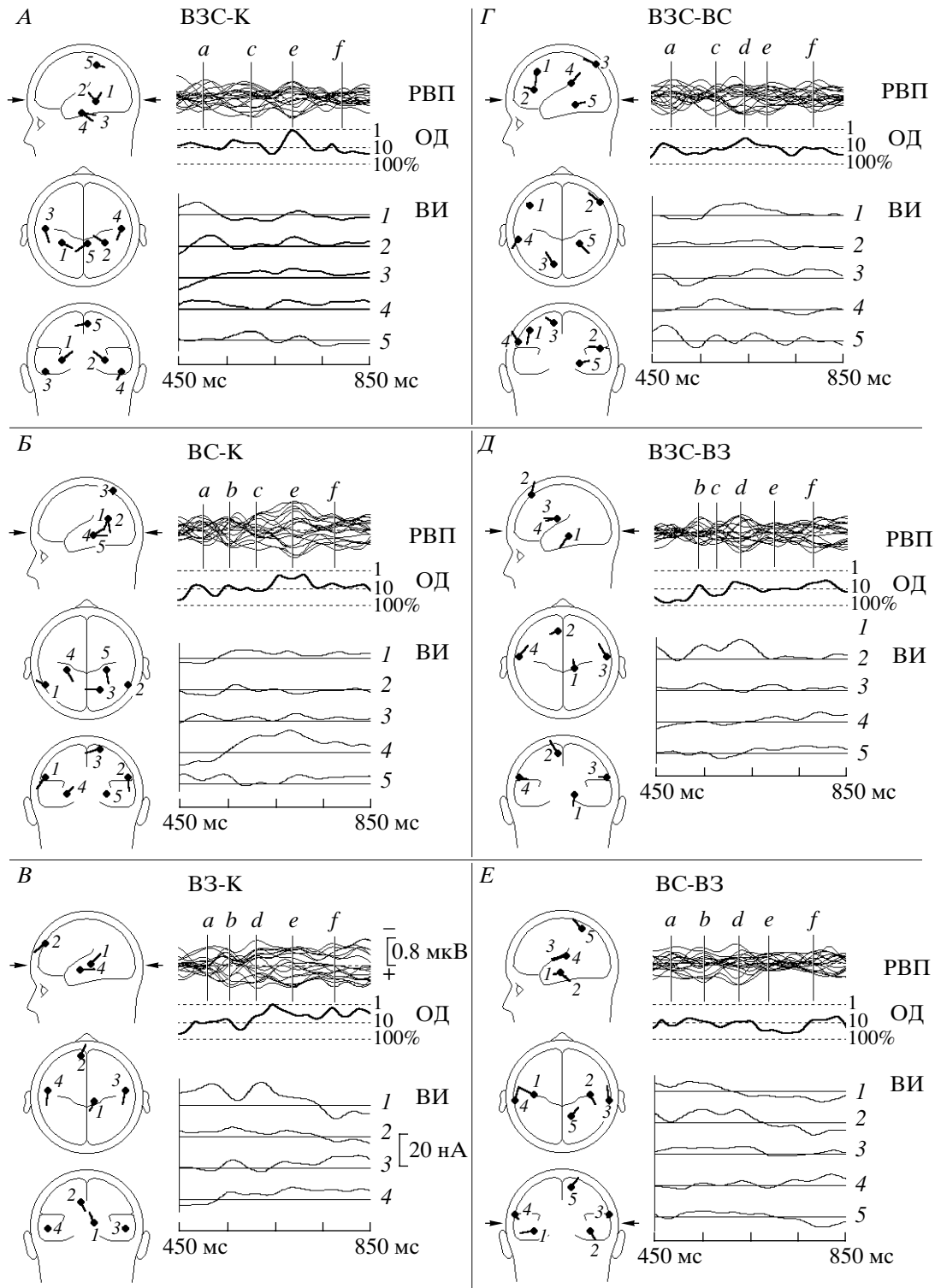
Моделирование дипольных источников. Построение модели дипольных источников проводилось в программе BESA2000 [5, 12]. В пространственно-временной модели каждый дипольный источник описывается локализацией (X , Y и Z), ориентацией и дипольным моментом. Разделение по времени активности нескольких источников отражается в пиках на графиках зависимости дипольного момента от времени, так называемых волнах источника (ВИ). Остаточная дисперсия (ОД) показывает, какая часть реальных данных не объясняется этой моделью. Число и локализация источников в завершенной модели определяется ста-

бильностью модели, минимальной ОД и физиологической адекватностью. Для определения возможного числа и примерной локализации диполей проводили анализ главных компонент. При моделировании использовались ограничения по показателям ОД и энергии (весовые факторы равны единице). Константа регуляризации, определяющая разделение активности источников, была задана равной 1%.

Большая длительность записанного участка (около 900 мс) и сложность когнитивной задачи предполагали большое число активных структур мозга, следовательно, и дипольных источников. Число отведений при записи ВП налагает ограничения на максимальное число диполей в модели, хотя для пространственно-временной модели возможно большее число диполей, чем для модели с нефиксированными источниками. Для построения моделей был выбран сегмент 450–850 мс, который по результатам, полученным в работе [2], оказался наиболее информативным. Даже для этого участка записи число диполей для построения аккуратной и адекватной модели больше, чем позволяет небольшое число отведений. Чтобы уменьшить число источников в модели, в дальнейшем использовались только разностные волны (РВП). Моделирование проводилось на усредненных по группе РВП, что повышало соотношение сигнал/шум и позволяло выявить закономерности, характерные для группы в целом. Если в процессе моделирования наблюдались явно билатеральные источники, то в модели задавалась симметрия их локализаций (но не ориентаций). Окончательные модели проверялись на адекватность числа диполей и на стабильность модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Компоненты разностных волн. РВП (усредненные по группе испытуемых разности индивидуальных ВП) приведены на рисунке для каждой модели в виде кривых, наложенных на одном графике для всех 19 каналов. Первые три РВП (рисунок, A , B , B) являлись результатом вычитания пассивного контроля из условий активного внимания: ВЗС – К; ВС – К; ВЗ – К. Остальные три РВП (Γ , D , E) были получены при вычитании пар заданий с активным вниманием: ВЗС – ВС; ВЗС – ВЗ; ВС – ВЗ. Для всех пар РВП оказались сложными волнами с нечетко выраженными компонентами. Анализ главных компонент на выбранном участке РВП показал, что необходимо использовать не менее четырех фиксированных источников для моделирования данных на латентностях 450–850 мс. На этом участке можно выделить шесть более или менее выраженных компонент, латентности пиков которых были следующими (мс): a – 480–510, b – 540–550, c – 580–600, d – 620–640, e – 680–690, f – 765–



Модели для разностных волн для промежутка времени 450- 850 мс. Для каждой из шести моделей показаны модели головы (прозрачность 100%), разностные волны (РВП), наложенные по 19 каналам, графики остаточной дисперсии (ОД, по вертикали – проценты, логарифмическая шкала), волны источника (ВИ). Номера графиков ВИ соответствуют номерам диполей на проекциях головы. Точки на модели головы представляют локализацию дипольных источников, направление вектора показывает ориентацию источника. Масштабы для графиков ВИ и РВП показаны на В. Условия на А, Б, В – результат вычитания пассивного контроля (К) из условий активного внимания, на Г, Д, Е показано вычитание ВП для пар заданий с активным вниманием. Объяснение в тексте.

780. Для каждой модели на рисунке отмечено 4–5 компонентов в РВП.

Модели эквивалентных дипольных источников. Пространственно-временные модели источников для всех шести РВП строились независимо одна от другой. На рисунке показаны все модели на выбранном участке 450–850 мс от начала стимуляции. Локализация дипольных источников и их ориентация видны на трех проекциях модели головы. Их численные значения, преобразованные в координаты атласа Талайраха [14], приведены в таблице. Динамика значений ОД для каждого момента времени приведена в виде графика к каждой модели на рисунке: чем ближе к единице подходит кривая, тем лучше модель описывает реальные данные на этом участке. Динамика активности каждого источника показана на рисунке в виде графиков ВИ соответствующего номера. Изменение активности отдельного источника отражает изменения амплитуды в каждый отсчет времени, компоненты кривых ВИ примерно соответствуют компонентам РВП. Так как ориентация диполя фиксирована, то знак отражает лишь изменение направления вектора диполя на противоположное.

Компоненты ВИ. Пики на графиках ВИ примерно соответствуют выделенным компонентам РВП, но четкое разделение компонентов ВИ не всегда было возможным. В таблице для каждого диполя приведены латентности пиков компонентов, в генезе которых этот источник участвует в той или иной степени. Компоненты *a* и *b* (480–550 мс) достаточно хорошо моделировались для всех РВП, но значения ОД были лишь немного ниже 10%. Более низкие значения на графиках ОД были получены для компонентов *c*, *d* или *e*. Модель ВЗС – К лучше всего объясняла компоненты *c* (590 мс, диполь 5) и *e* (680 мс, диполи 2–4). Для модели ВС – К это компонент *e* (680 мс, диполь 4). Для модели ВЗ – К значения ОД были достаточно низкими на латентностях после 600 мс, наиболее мощным был источник 1, который моделировал компонент с латентностью около 620 мс (*d*). В модели ВЗС-ВС компонент *c* (580 мс) генерируется в основном диполем 4, имеющим теменную локализацию, как и диполь 5 в модели ВЗС-К, хотя свой вклад вносят также диполи 1 и 5 (переднелобная и нижневисочная локализация). Компонент *d* (640 мс) моделируется диполями 1 и 2, локализованными в переднелобных областях. В модели ВЗС – ВЗ также хорошо описаны компоненты *b* (540 мс) – диполи 1 и 2 (гиппокамп и переднелобная кора) и компонент *d* (620 мс) – диполь 1. В модели ВС – ВЗ диполи 1 и 2 генерировали компонент *b* (550 мс), а диполь 2 также и компонент *d* (620 мс).

Аппроксимация источников на структуры мозга. Полученные в результате моделирования координаты диполя в пространстве модели головы можно привязать к определенным структурам

мозга. Для этого обычно используется часто применяемый в метаболических исследованиях атлас Талайраха [14]. При определении структур мозга, связанных с данным источником, необходимо учитывать, что точечный дипольный источник представляет как бы “центр тяжести” активной области или нескольких соседних областей. Его локализация при небольшом смещении может все еще хорошо описывать те же самые вызванные потенциалы [13]. Величина этой ошибки локализации может быть (по разным источникам) от 7–8 мм до 3.6 см [8, 15]. Обсуждение проблемы точности локализации в русскоязычной литературе можно найти в работе [1]. В таблице для каждого диполя, вместе с численными значениями координат в системе этого атласа, приведены также области мозга, где предположительно локализован данный источник.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В настоящей работе метод локализации эквивалентного дипольного источника использовался для определения структур мозга здорового человека, задействованных при выполнении задачи на интермодальное избирательное внимание и память. Экспериментальные данные были получены ранее в исследованиях [2, 3]. Для моделирования были использованы разностные волны, полученные усреднением индивидуальных РВП (разности ВП для пар экспериментальных условий). Использование РВП позволяет исключить из модели области, одинаково активные в обоих анализируемых условиях. Хотя такие сигналы обычно имеют небольшую амплитуду (что затрудняет построение моделей), использование РВП уменьшает число дипольных источников до приемлемого в соответствии с числом каналов записи ЭЭГ. Использование РВП дает лучшие результаты, если условия эксперимента различаются на одну операцию, которую и удается локализовать в определенной анатомической структуре в виде одного или двух эквивалентных электрических дипольных источников [4]. Анализ РВП в настоящем исследовании показал, что потребуются не менее четырех источников для моделирования данных на участке 450–850 мс от начала стимуляции. Построение таких моделей на записи ЭЭГ от 19 отведений возможно, но не дает высокодостоверных результатов. Таким образом, результаты, полученные в настоящем исследовании, можно считать в большей степени предварительными. Тем не менее выявлен ряд закономерностей, которые могут быть подтверждены и уточнены в экспериментах с большим числом каналов ЭЭГ.

Выбор участка 450–850 мс был основан на статистическом анализе ВП, проведенном ранее [2]. Наиболее информативные различия ВП были отмечены для компонентов с латентностями более

Координаты дипольных источников в системе атласа Талайраха для каждой модели РВП и компоненты, моделируемые каждым источником

РВП		Координаты, мм			Компоненты, мс			Полушарие	Структуры мозга	
		X	Y	Z	a, b	c, d	e			
А	ВЗС – К	1	-33	-39	-4	500	–	–	Л	<i>Hippocampus</i>
		2	33	-39	-4	500	–	680	П	<i>Hippocampus</i>
		3	-57	-12	-21	–	590	680	Л	<i>G. Temporalis inferior</i>
		4	57	-12	-21	500	–	680	П	<i>G. Temporalis inferior</i>
		5	6	-46	54	–	590	–	П	<i>Precuneus</i>
Б	ВС – К	1	-63	-58	19	500	600	680	Л	<i>G. Temporalis superior</i>
		2	63	-58	19	500	–	–	П	<i>G. Temporalis superior</i>
		3	18	-66	59	500	–	680	П	<i>L. Parietalis superior</i>
		4	-30	-29	-5	500	600	680	Л	<i>Hippocampus</i>
		5	30	-29	-5	550	–	680	П	<i>Hippocampus</i>
В	ВЗ-К	1	15	-38	4	520	620	680	П	<i>G. Parahippocampi</i>
		2	-8	51	47	550	–	680	Л	<i>G. Frontalis superior</i>
		3	58	-6	-3	550	–	680	П	<i>G. Temporalis medius</i>
		4	-58	-6	-3	550	620	680	Л	<i>G. Temporalis medius</i>
Г	ВЗС – ВС	1	-48	20	46	–	640	680	Л	<i>G. Frontalis medius</i>
		2	57	29	22	–	640	680	П	<i>G. Frontalis medius</i>
		3	-12	-79	48	–	640	680	Л	<i>L. Parietalis superior</i>
		4	-65	-36	25	–	580	–	Л	<i>L. Parietalis inferior</i>
		5	26	-40	-11	480	640	–	П	<i>G. Fusiformis</i>
Д	ВЗС – ВЗ	1	17	-26	-7	540	620	–	П	<i>G. Parahippocampi</i>
		2	-7	27	61	540	–	680	Л	<i>G. Frontalis superior</i>
		3	60	10	23	–	–	680	П	<i>G. Frontalis inferior</i>
		4	-60	10	23	–	–	680	Л	<i>G. Frontalis inferior</i>
Е	ВС – ВЗ	1	-36	-13	-10	550	–	680	Л	<i>Hippocampus</i>
		2	36	-13	-10	550	620	–	П	<i>Hippocampus</i>
		3	67	-27	16	550	620	–	П	<i>G. Temporalis superior</i>
		4	-67	-27	16	–	620	–	Л	<i>G. Temporalis superior</i>
		5	13	-59	58	550	–	–	П	<i>L. Parietalis superior</i>

Примечание. Жирным шрифтом выделены латентности пиков компонентов, имевших наиболее мощные источники в данной модели.

400 мс. Достоверные различия между всеми парами сравниваемых заданий в целом наблюдались в промежутке примерно с 450 до 850 мс. Выбранный для локализации сегмент ВП в большей степени можно связать с процессами памяти на речевые стимулы, хотя модуляция внимания к стимулу может также влиять на компоненты с латентностью 300 мс и более. Согласно парадигме исследования

испытуемые должны были запоминать предъявляемые слова в одной из двух или в обеих модальностях в зависимости от инструкции. “Запись в память” речевых стимулов обычно связывают с переднебоковой корой в основном левого полушария, а также со структурами височных областей, расположенных близко к средней линии (гиппокамп и прилегающие области) [7]. Подавляющее боль-

шинство эквивалентных диполей было локализовано в лобных и височных долях мозга, следовательно, активность именно этих структур изменялась в зависимости от поставленной задачи.

Сложная парадигма экспериментов в настоящем исследовании предполагала активацию различных структур мозга. Изменение инструкции в разных условиях эксперимента (при том, что стимуляция была идентичной для всех условий) привело к тому, что изменялась активность сразу нескольких из задействованных структур, что отразилось в сложном паттерне РВП и в моделях дипольных источников. Хотя модели строились независимо друг от друга, можно проследить закономерности в локализации компонентов с определенной латентностью. Компоненты с латентностями 480–550 мс (*a* и *b*) были хорошо представлены в ВИ диполей, которые локализовались в гиппокампе или в соседних областях (вентральная височная кора). Компонент 580–590 мс моделировался источниками в теменных долях и/или в переднелобной и нижневисочной областях в зависимости от задачи (три модели для РВП “задача – пассивный контроль”). Компоненты 600–620 мс, если они присутствовали в РВП, моделировались источниками в гиппокампе или прилегающих структурах в основном правого полушария. Компонент 680–690 мс был относительно хорошо выражен для пяти моделей РВП, его источники почти во всех моделях локализовались в височных областях, в том числе в гиппокампальных структурах. В лобных долях парные дипольные источники наблюдались при вычитании из бимодальной задачи одной из унимодальных задач (ВЗС – ВС и ВЗС – ВЗ), что говорит о включении структур лобной коры при селекции сигналов, как это уже предполагалось в работе [2].

В каждой из моделей были источники, локализованные в гиппокампе или в соседних с ним областях (парагиппокампальная и веретенообразная извилина). В основном именно эти источники и оказывались наиболее мощными, как это видно на кривых ВИ. Таким образом, наиболее выраженные изменения происходили в основном в области гиппокампа и соседних областях на участке 500–700 мс от начала стимуляции. За исключением одной модели (ВС – К), источник локализовался справа или, в случае симметричных диполей, был сильнее справа, чем слева. Такая латерализация активности этих областей скорее всего вызвана изменениями в обработке речевых стимулов в разных условиях эксперимента. По сравнению с контролем при бимодальном внимании и запоминании всех слов активность в нижневисочных областях предположительно усиливается (пик на 680 мс). В моделях “одноmodalное запоминание – контроль” повышенная активность нижневисочных областей наблюдалась и на более ранних латентностях, соответствующих компонентам *c* и *d*. Те же компоненты наблюдались в РВП для разностей ВП в ос-

тальных трех парах заданий, а компонент с латентностью 680 мс становится менее выраженным (в модели ВС – ВЗ он почти не выделяется). Так как локализация диполей в моделях разная, то невозможно напрямую сравнить мощности дипольных источников в каждой модели РВП. Дипольная модель не может также точно определить природу описанных выше изменений активности областей мозга. Тем не менее модели демонстрируют, что различия в вызванной активности мозга на выбранном отрезке 450–850 мс между разными заданиями в настоящем исследовании в основном связаны с изменением активности гиппокампа и прилегающих областей.

По данным литературы, гиппокамп является ключевым звеном в “системе поведенческого торможения” [9]. Изменения гиппокампа на томографических снимках отмечаются у пациентов с аутизмом, которые в задачах на интермодальное внимание показывают худшие результаты, чем здоровые испытуемые. Это объясняется в том числе и как дефицит избирательного торможения [6]. В работе [2] предполагается, что в наблюдаемых на поздних латентностях изменениях ВП отражаются как процессы запоминания информации, так и ее торможение (вытеснение стимулов в игнорируемой модальности) путем блокады передачи нерелевантной информации на структуры гиппокампа. При этом запоминание происходит при участии энторинальной коры (которая отвечает за семантическую память) в интервале 450–550 мс, а торможение нерелевантных сигналов происходит на более поздних латентностях (600–680 мс) в гиппокампе, связанном с декларативной памятью [2]. Это предположение достаточно хорошо соответствует полученным дипольным моделям, где источники более ранней активности на отрезке 450–850 мс в основном локализовались в парагиппокампальной или соседней с ней веретенообразной извилинах, а более поздние компоненты – в гиппокампе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При смене инструкции в задачах на интермодальное внимание и память изменения активности на отрезке 450–850 мс от начала стимуляции произошли в разных структурах мозга, но почти все восстановленные источники локализовались в лобных и височных областях. Наиболее выраженные и повторяющиеся изменения активности были сосредоточены в гиппокампе и прилегающих структурах. Данные моделирования соответствуют полученным ранее результатам анализа вызванных потенциалов и выдвинутой на их основании гипотезе [2] о ключевой роли гиппокампа в избирательном внимании и запоминании речевых стимулов.

* * *

Моделирование в программе BESA2000 проводилось Е.В. Мнацаканян в период ее пребывания в лаборатории нейрофизиологии Центра исследований мозга и реабилитации Neuron, Куопио, Финляндия.

Авторы благодарят за поддержку и консультации доктора М. Шерга и компанию MEGIS Software GmbH (Германия).

Исследование выполнено при поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 02-06-00021а), Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 02-04-48888), программы Президиума РАН “Фундаментальные науки – медицине” и программы ОБН РАН “Интегративные механизмы регуляции функций и организмов”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография. Таганрог: Изд-во ТРГУ, 2000. С. 114–134.
2. Иваницкий А.М., Ильюченко И.Р., Иваницкий Г.А. Избирательное внимание и память – вызванные потенциалы при конкуренции зрительных и слуховых словесных сигналов // Журн. высш. нерв. деят. 2003. Т. 53. № 5. С. 541–551.
3. Медведев С.В., Рудас М.С., Пахомов С.В., Иваницкий А.М., Ильюченко И.Р., Иваницкий Г.А. Механизмы избирательного внимания при конкуренции зрительной и слуховой речевой информации: исследование методами позитронно-эмиссионной томографии и вызванных потенциалов мозга // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 6. С. 41–50.
4. Abdullaev Y.G., Posner M.I. Event-related brain potential imaging of semantic encoding during processing single words // NeuroImage. 1998. V. 7. P. 1–13.
5. Berg P., Scherg M. A fast method for forward computation of multiple-shell spherical head models // EEG a. Clin. Neurophysiol. 1994. V. 90. P. 58–64.
6. Ciesielski K.T., Knight J.E., Prince R.J., Harris R.J., Handmaker S.D. Event-related potentials in cross-modal divided attention in autism // Neuropsychologia. 1995. V. 33. № 2. P. 225–246.
7. Fletcher P.C., Stephenson C.M.E., Carpenter T.A., Donovan T., Bullmore E.T. Regional brain activations predicting subsequent memory success: an event-related fMRI study of the influence of encoding tasks // Cortex. 2003. V. 39. P. 1009–1026.
8. Leahy R.M., Mosher J.C., Spenser M.E., Huang M.X., Lewine J.D. A study of dipole localization accuracy for MEG and EEG using human skull phantom // EEG a. Clin. Neurophysiol. 1998. V. 107. P. 159–171.
9. McNaughton N., Wickens J. Hebb, pandemonium and catastrophic hypermnesia: the hippocampus as a suppressor of inappropriate associations // Cortex. 2003. V. 39. P. 1139–1163.
10. Mnatsakanian E.V., Tarkka I.M. Familiar face recognition and comparison: source analysis of scalp-recorded ERPs // Clin. Neurophysiol. 2004. V. 115. № 4. P. 880–886.
11. Opitz B., Mecklinger A., Von Cramon D.Y., Kruggel F. Combining electrophysiological and hemodynamic measures of the auditory oddball // Psychophysiology. 1999. V. 36. P. 142–147.
12. Scherg M., Berg P. BESA2000 Version 4.06. Munich: Megis, 2000.
13. Scherg M., Ebersole J.S. Models of brain sources // Brain Topogr. 1993. V. 5. P. 419–423.
14. Talairach J.A., Tournoux P. Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. N. Y.: Thieme Verlag, 1988. 132 с.
15. Zhang Z., Jewett D.L. Insidious errors in dipole localization parameters at a single time-point due to model misspecification of number of shells // EEG a. Clin. Neurophysiol. 1993. V. 88. P. 1–11.