

УДК 612 822.3.08

РОЛЬ МЕЖПОЛУШАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПРОЦЕССЕ ОПОЗНАНИЯ ОШИБОК В ПРЕДЪЯВЛЯЕМОМ НА СЛУХ ВЕРБАЛЬНОМ МАТЕРИАЛЕ

© 2004 г. Д. М. Цапарина, А. Н. Шеповальников

*Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М.Сеченова РАН,
194 223, г. Санкт-Петербург, пр. М. Тореза, д.44*

Поступила в редакцию 11.12.2003 г.

В работе представлены результаты исследования пространственной структуры системного взаимодействия биоэлектрической активности различных отделов коры больших полушарий в процессе слухового восприятия и анализа речевого материала. При опознании испытуемыми (18 человек, средний возраст 25 лет) грамматических и семантических ошибок в предъявляемых на слух предложениях обнаружено значительное усиление межполушарных взаимодействий между биопотенциалами различных зон коры при почти полном отсутствии изменений по отношению к фоновому состоянию уровня корреляционных связей ЭЭГ в пределах каждого полушария. Усиление контрлатеральных взаимодействий биопотенциалов было особенно выражено для зон коры, связанных с речью в левом полушарии (т.е. зон Брока и Вернике), и для средневисочной зоны правого полушария. Полученные данные также показали, что при вербально-аналитической деятельности, связанной с опознанием грамматических и семантических ошибок, имеет место также актуализация межцентральных взаимодействий, относящихся к функциональной системе, ответственной за процесс опознания не только вербальных, но и любых других стимулов.

Ключевые слова: ЭЭГ, межполушарные отношения, речь, опознание грамматических и семантических ошибок.

ВВЕДЕНИЕ

Современные методические возможности для изучения нейрофизиологических механизмов церебрального обеспечения речевой деятельности позволяют приблизиться к дифференцированной оценке особенностей системной деятельности мозга при анализе испытуемым различных характеристик вербальных сигналов: фонетической, морфологической, синтаксической, лексической либо семантической. Большое количество новых данных, полученных в последнее время с помощью различных методов, в частности ПЭТ, ЭЭГ, потенциалов, связанных с событиями, ЯМР и др. (Галунов и др., 1986; Petersen et al., 1988; Abdullaev, Bechtereva, 1993; Черниговская и др., 1996; Nagoort et al., 1996; Медведев и др., 1997; Стрелец, 1997; Воробьев и др., 1998; Балонов и др., 1999; Friederici et al., 2003) свидетельствует о специфическом вкладе каждой из гемисфер в осуществлении речевой функции. Речевая деятельность не может рассматриваться как функция двух или нескольких структур, а является результатом взаимодействия многих церебральных процессов на разных уровнях организации. Однако остаются неясными многие стороны нейрофизиологического обеспечения процессов опознания нормативных характеристик семантически и граммати-

чески корректных фраз. Заслуживает внимания, в частности, ответ на вопрос: как изменяется структура межцентральных связей левого и правого полушария в условиях необходимости реагировать на ошибки в предъявляемом на слух вербальном материале?

Наше исследование было направлено на выявление особенностей системной реорганизации пространственно-временных отношений колебаний биопотенциалов мозга при опознании испытуемыми семантических и грамматических ошибок в воспринимаемых на слух предложениях.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В трех сериях наблюдений с использованием методов многопараметрического анализа ЭЭГ было обследовано 18 здоровых взрослых испытуемых (средний возраст 25 лет). Все испытуемые правши. Проверку проводились с использованием оценок преимущественного предпочтения руки, уха и глаза.

На 24-канальном компьютерном электроэнцефалографе с полосой пропускания – 0.5–30 Гц регистрировали ЭЭГ. Ввод сигналов в компьютер осуществлялся с частотой квантования 185 в секунду по каждому из каналов. В каждом наблюдении

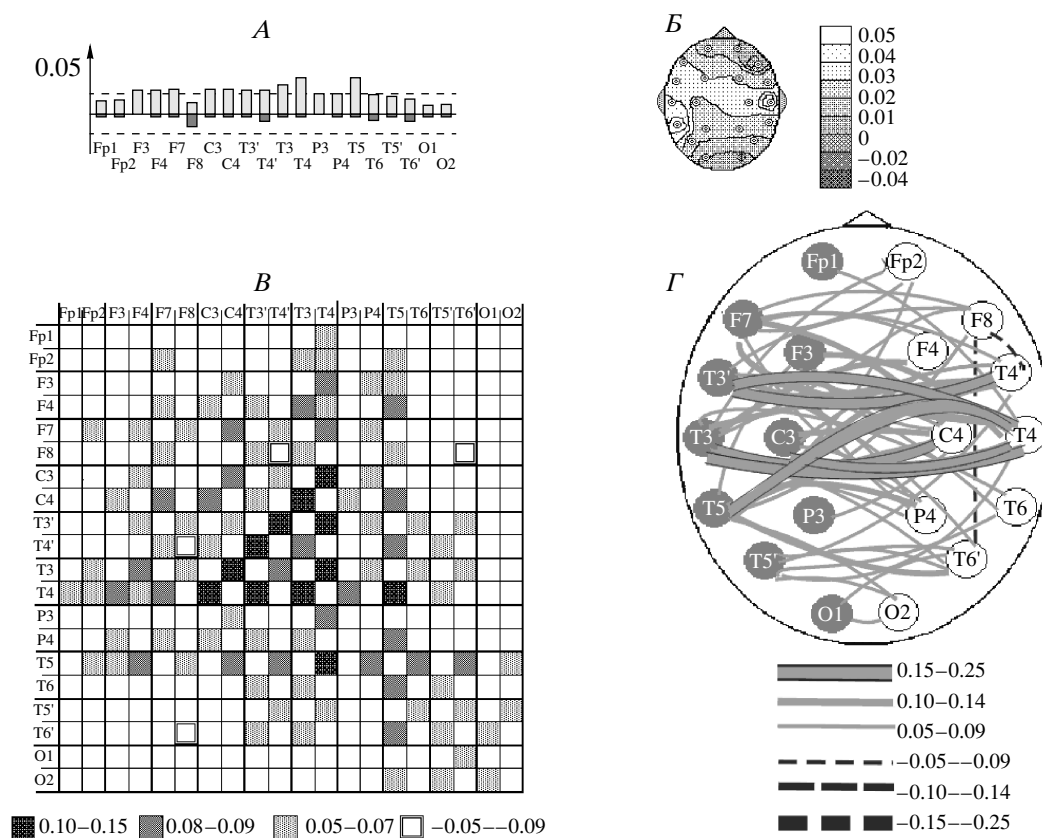


Рис. 1. Изменения системного взаимодействия биопотенциалов мозга в процессе опознания испытуемыми ($N = 18$) грамматических ошибок в предъявляемых на слух предложениях по сравнению с фоном. А – отличия от фона интегральных параметров ЭЭГ по всем 20 отведениям (Fp1 – O2). Столбики, направленные вверх, характеризуют суммарное для данного отведения увеличение коэффициентов корреляции ЭЭГ по сравнению с фоновым состоянием, а столбики, направленные вниз – снижение; Б – карта-"мэппинг" относительных изменений интегральных параметров ЭЭГ, согласно шкале градаций справа; В – разностная матрица изменений коэффициентов корреляции ЭЭГ при выполнении задания по сравнению с фоном, согласно градациям изменений КК ЭЭГ, представленным снизу; Г – схема изменений межрегиональных связей ЭЭГ, построенная по данным, представленным в разностной матрице (согласно шкале градаций снизу).

нии применяли 20 монополярных отведений (в качестве референтного использовались объединенные электроды на мочках ушей), из них 16 располагались по международной схеме 10–20 симметрично в переднелобных (Fp1, Fp2), заднелобных (F3, F4), центральных (C3, C4), нижнелобных (F7, F8), средневисочных (T3, T4), задневисочных (T5, T6), теменных (P3, P4) и затылочных областях (O1, O2). Для более детального анализа роли височных областей в осуществлении речевой функции дополнительно устанавливали 4 электрода (рис. 1, Г) в передневисочной области (T3', T4'), и в зонах перекрытия височной теменной и затылочной областей (T5', T6'). Запись ЭЭГ проводилась непрерывно, как в фоновом состоянии испытуемых (состояние бодрствования с закрытыми глазами), так и при выполнении тестовых заданий, в положении лежа в звукоизолированной, затемненной экранированной камере.

Использовались следующие задания.

Опознание грамматических ошибок в предъявляемых на слух предложениях.

Испытуемому бинаурально через наушники предъявляли в случайном порядке предложения как содержащие грамматическую ошибку, так и не содержащие ее (всего 50 предложений, 30 из них содержали ошибку). Длительность каждого предложения колебалась в пределах 4–6 с, с интервалом между ними 2 с, таким образом, предъявление всей серии предложений занимало от 3 до 5 мин. В предложениях, содержащих ошибку, были нарушены следующие виды грамматических связей: ошибки связей согласования – в личных окончаниях глаголов (например, “На крыше дома сидел кошка”); в родовых окончаниях прилагательных (“По небу плыла большой туча”); ошибки связей управления: – в падежных оконча-

ниях существительных (“Я прочитал интересную статью”).

При обнаружении ошибки в предъявляемом на слух вербальном материале испытуемый должен был нажимать на кнопку правой рукой.

Опознание семантических ошибок в предъявляемых на слух предложениях.

В этом случае испытуемому предъявлялись предложения как содержащие семантическую ошибку, так и не содержащие ее (всего 50 предложений, 30 из них содержали ошибку). Длительность каждого предложения, также как и в первом случае, колебалась в пределах 4–6 с, с интервалом между ними 2 с, таким образом, предъявление всей серии предложений также занимало от 3 до 5 мин. Использовали следующие виды семантических ошибок: ошибки в конструкциях, отражающих временную последовательность событий (“Январь наступает после февраля”); ошибки в конструкциях, отражающих причинно-следственные связи (“Мы купили билеты потому, что попали в кино”); в) конструкции, содержащие семантический парадокс (“Корабль развалился на три половинки”). Семантически корректные предложения случайным образом чередовались с предложениями, содержащими ошибку. Испытуемый должен был нажимать на кнопку только в том случае, если в предъявленном предложении присутствовала ошибка.

Опознание заданного шумового сигнала среди ряда других.

Испытуемому через наушники бинаурально подавали в случайном порядке шумовые сигналы длительностью 4 с, с интервалом 0.5 с, всего 10 различных сигналов, которые подавались неоднократно в течение 3 мин. Испытуемый должен был опознать заданный сигнал среди других и нажать на кнопку при его обнаружении. Были использованы такие виды сигналов, как шум электробритвы, звонок будильника, стук молотка, скрип двери, шум дождя и т.п.

Каждое тестовое задание выполнялось испытуемым в течение одного экспериментального наблюдения 1–2 раза с переменной содержания стимульного материала.

На протяжении всего обследования каждые 4 с (“эпоха анализа”) вычисляли матрицы (размерностью 20×20) коэффициентов кросс-корреляции (КК) между ЭЭГ от всех отведений попарно. Для обеспечения статистической достоверности результатов в каждом исследуемом состоянии (как в фоне, так и при тестовых заданиях) проводили обработку от 20 до 60 эпох анализа ЭЭГ, не содержащих артефактов. Условия эксперимента и регистрации ответных реакций испытуемого были построены таким образом, чтобы в максимальной мере нивелировать двигательные артефакты.

С целью выявления статистически однородных участков ЭЭГ в пределах исследуемого состояния у каждого испытуемого проводили оценку статистического сходства матриц корреляции ЭЭГ, соответствующих всем отдельным 4-х с эпохам анализа в данном состоянии. Эта операция проводилась с помощью иерархического агломеративного кластерного анализа (Жамбю М., 1988)*. Из дальнейшего статистического анализа исключались те матрицы КК ЭЭГ, которые по статистическим характеристикам в фоне и при тестируемой деятельности достоверно не различались между собой. Такой метод позволяет избежать влияния на результаты экспериментального наблюдения кратковременных изменений однородности функционального состояния испытуемого.

Поэлементные значения зарегистрированных корреляционных матриц многоканальной ЭЭГ усреднялись как в пределах каждого из изучаемых функциональных состояний у отдельного испытуемого, так и в пределах группы испытуемых. Вычисляли средние значения КК ЭЭГ, матрицы дисперсий КК ЭЭГ и интервалы достоверности средних значений КК ЭЭГ по критерию Стьюдента при $p < = 0.05$. При всех операциях с коэффициентами корреляции применяли z -преобразование Фишера.

Для оценки изменений в пространственной организации дистантных связей ЭЭГ, проходящих при выполнении тестовых заданий, производили количественное сопоставление матриц средних значений КК ЭЭГ, соответствующих тестовому заданию, и матриц, соответствующих фоновому состоянию. Это происходило при помощи операции поэлементного вычитания числовых значений элементов матриц КК ЭЭГ, усредненных в пределах фонового состояния спокойного бодрствования, из числовых значений элементов матриц, соответствующих тестовым заданиям.

Таким образом, формировали разностные матрицы КК ЭЭГ, элементы которых отражали изменения пространственной организации ЭЭГ, выявляющиеся при различных заданиях. В каждой ячейке разностных матриц оценивали достоверность изменений КК ЭЭГ, характерных для тестовых заданий, по критерию t -Стьюдента (при $p < = 0.05$) по отношению к значениям КК ЭЭГ в фоновом состоянии.

Для построения “эквипотенциальных” карт – мэппингов средних изменений дистантного взаимодействия биопотенциалов в каждом из отведений ЭЭГ производили усреднение по отдельным столбцам (соответствующим различным отведениям) разностных матриц КК ЭЭГ с учетом знака

* Методика и программа разработаны ст. научн. сотр. ИЭФБ им. И.М. Сеченова канд. биол. наук А.А. Погосьяном.

изменений КК ЭЭГ. Таким образом, определяли среднюю (по всем 19 связям данной зоны коры с остальными) величину изменений дистантного взаимодействия ЭЭГ в данной зоне с учетом знака изменений по отношению к результатам, полученным в фоновом состоянии. Построение карт осуществляли с учетом пространственного градиента отображаемых параметров, обеспечивая оптимальную форму интерполирующей поверхности.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При выполнении испытуемыми задания по опознанию грамматических ошибок в предъявляемых на слух предложениях в среднем по группе было выявлено увеличение степени статистического сходства между биоэлектрическими процессами в различных отделах коры как левого, так и правого полушария (рис. 1, А). Наибольшее увеличение степени статистического сходства колебаний биоэлектрических потенциалов было характерно для дистантных связей ЭЭГ задневисочного отдела левого полушария (отведение Т5, соответствующее зоне Вернике, рис. 1, Б) и для средневисочной области (Т4) правого полушария.

Особенности изменений пространственной структуры межрегионального взаимодействия биоэлектрической активности (БЭА) различных зон мозга можно детально проанализировать при изучении разностной матрицы корреляционных связей ЭЭГ, представленной на рис. 1, В. На матрице отображены только достоверные изменения статистического сходства между процессами в различных отделах коры по отношению к фоновому состоянию. Обращает на себя внимание то, что при выполнении теста на опознание испытуемыми грамматических ошибок в предложениях ярко проявляется «шахматный паттерн» изменений дистантного взаимодействия биоэлектрических потенциалов, свидетельствующий о том, что при выполнении данного задания в особой мере усиливаются межполушарные взаимосвязи колебаний БЭА коры. Отметим, что «шахматный паттерн» может проявляться либо при усилении межполушарных связей, либо только ипсилатеральных, поскольку в столбцах и строках матрицы симметричные отведения в левом и правом полушарии представлены парами последовательно.

Так при прослеживании изменений КК ЭЭГ на пересечениях строки матрицы, соответствующей зоне Вернике (отведение Т5), со столбцами матрицы, видно, что увеличение значений кросскорреляции БЭА этого отдела коры происходит в основном с ЭЭГ отведений Fp2, F4, F8, C4, T4', T4, P4, T6, T6', O2 правого полушария и только с ЭЭГ одного отведения левого полушария – F3, в диапазоне изменений КК ЭЭГ 0.05–0.07. Наибольшее увеличение степени статистической связи ЭЭГ зоны Вернике (до 0.15) происходило с ЭЭГ сред-

невисочного отдела коры правого полушария (отведение Т4). В свою очередь максимальное увеличение кросскорреляции БЭА этого отдела коры (Т4) было характерно для связей с ЭЭГ височных и центральных отделов левого полушария (Т3', Т3, Т5, С3), хотя с ЭЭГ лобных отделов обоих полушарий увеличение КК ЭЭГ носило смешанный характер.

Из схемы изменений межрегиональных связей ЭЭГ (рис. 1, Г), построенной на основе разностной матрицы, также видно, что при выполнении этого вербально-мнестического теста, наибольшие изменения КК ЭЭГ (от 0.08 до 0.15) правой средневисочной зоны (Т4) носили межполушарный характер. Следует отметить, что при этом задании происходит усиление статистических связей ЭЭГ этой зоны с ЭЭГ зоны Вернике и в несколько меньшей мере с ЭЭГ зоны Брока, т.е. с теми отделами коры левого полушария, которые по классическим представлениям непосредственно связаны с речевой функцией.

Кроме того, усиливалось дистантное взаимодействие левой и правой центральных областей (С3, С4) с контрлатеральными средневисочными отделами (Т3, Т4) (Рис. 1, Г).

В целом следует отметить что при выполнении теста на опознание испытуемыми грамматических ошибок в предъявляемых на слух предложениях в особой мере возрастали межполушарные статистические связи между ЭЭГ височных долей. Существенно также, что при выполнении этого теста по сравнению с фоном в обоих полушариях относительно мало изменялись ипсилатеральные связи ЭЭГ.

Во второй серии наблюдений, когда испытуемые выполняли тест, ориентированный на опознание семантических ошибок в предъявляемых на слух предложениях (рис. 2), было выявлено значительное сходство пространственно-временной структуры происходящих изменений дистантных связей ЭЭГ с выявленной при выполнении испытуемыми задания на опознание грамматических ошибок.

Так, при этом задании также наблюдалось общее усиление дистантных связей ЭЭГ по сравнению с фоном (рис. 2, А), причем в пространственной структуре распределения этих связей происходило значительное усиление межполушарных связей ЭЭГ. Это видно как из разностной матрицы, по проявляющемуся «шахматному паттерну» изменений КК ЭЭГ (рис. 2, В), так и по схеме изменений межрегиональных связей ЭЭГ (рис. 2, Г). При выполнении обоих тестов усиливались билатерально-симметричные связи между ЭЭГ височных долей обоих полушарий (т.е. между ЭЭГ Т3'-Т4', Т3-Т4, Т5-Т6). Также усиливались межполушарные связи ЭЭГ правой средневисочной зоны (Т4) с ЭЭГ нижнелобных и височных отделов ле-

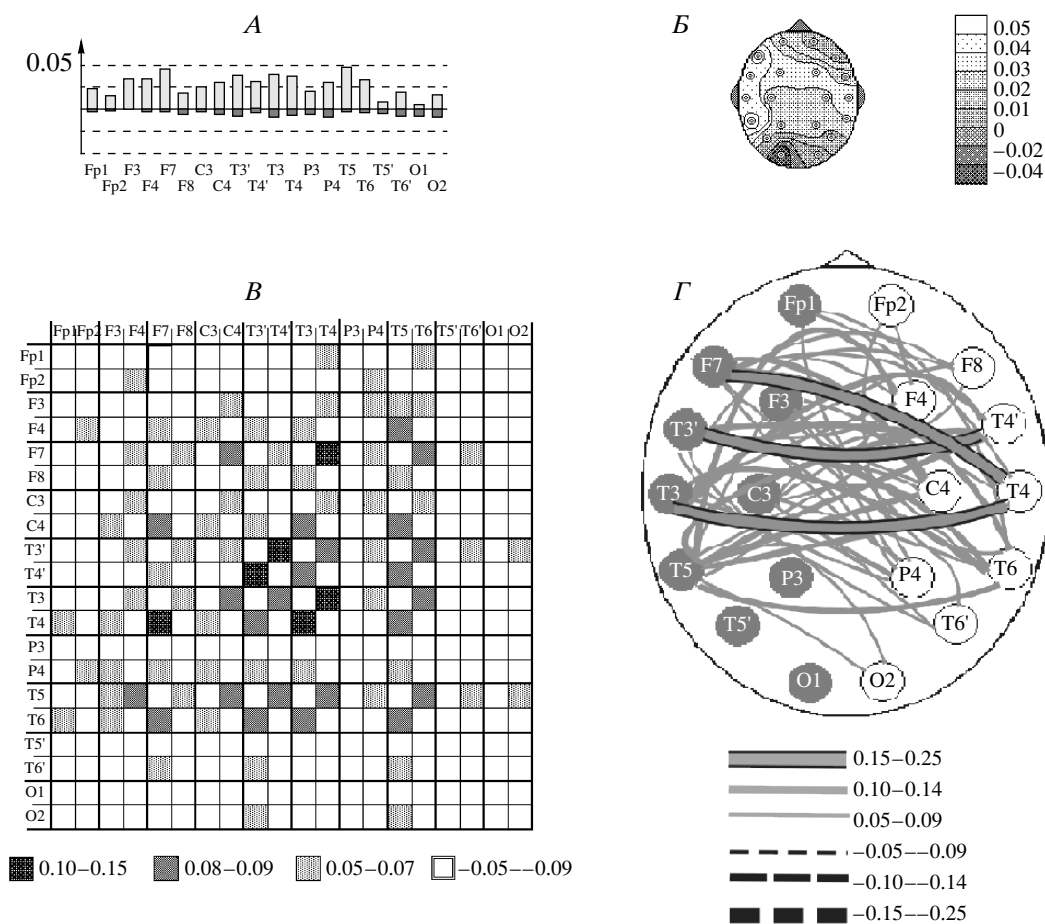


Рис. 2. Увеличение межполушарного взаимодействия биопотенциалов мозга испытуемых ($N = 18$), происходящее в процессе обнаружения семантических ошибок в предъявляемых на слух предложениях по сравнению с фоном. Обозначения согласно рис.1.

вого полушария., включая зоны Брока (F7) и Вернике (T5). В обоих случаях мало изменялись ипсилатеральные связи ЭЭГ.

Подчеркнем, однако, что при выполнении задания по обнаружению семантических ошибок выявились и определенные отличия. Так, из карт-мэппингов, представленных для обоих заданий (рис.1, Б, рис. 2, Б), видно, что при выполнении данного теста в большей мере, чем при опознании грамматических ошибок, усиливаются дистантные связи ЭЭГ зоны Брока, изменения которых по отношению к фону становятся в этом случае максимальными, как и значения изменений КК ЭЭГ для зоны Вернике. Это отображено величиной соответствующего столбика на графике (рис.2, А и светлыми градациями на мэппинге (рис.2, Б). В то же время в целом усиление дистантных связей ЭЭГ правой средневисочной зоны (Т4) было менее выражено, хотя по сравнению с предыдущим заданием статистическая связь колебаний ЭЭГ этой зоны с ЭЭГ зоны Брока усиливалась больше (до 0.15).

Ипсилатеральные связи ЭЭГ, как упоминалось выше, при этом задании в основном также мало изменялись, но стоит отметить некоторое увеличение (в пределах 0.05–0.07) внутрислобного взаимодействия задневисочных отделов (рис. 2, Г, отведения F3, F4) с задневисочными (отведения T5, T6) в каждом из полушарий. Отмечалось также усиление статистической связи между ЭЭГ от электродов F8 и C4 в правом полушарии (рис 2. В). Примечательно также, что при выполнении этого теста имело место некоторое (недостойное при $p = 0.05$) уменьшение, по сравнению с фоном взаимокорреляции ЭЭГ левой затылочной области со многими отделами мозга (рис. 2, Б). Других зон коры, где бы происходило существенное уменьшение корреляционных связей ЭЭГ не наблюдалось.

Таким образом, полученные данные показывают, что в процессе выполнения заданий на опознание грамматических и семантических ошибок в предъявляемом на слух вербальном материале, и в том и в другом случае значительно усиливаются

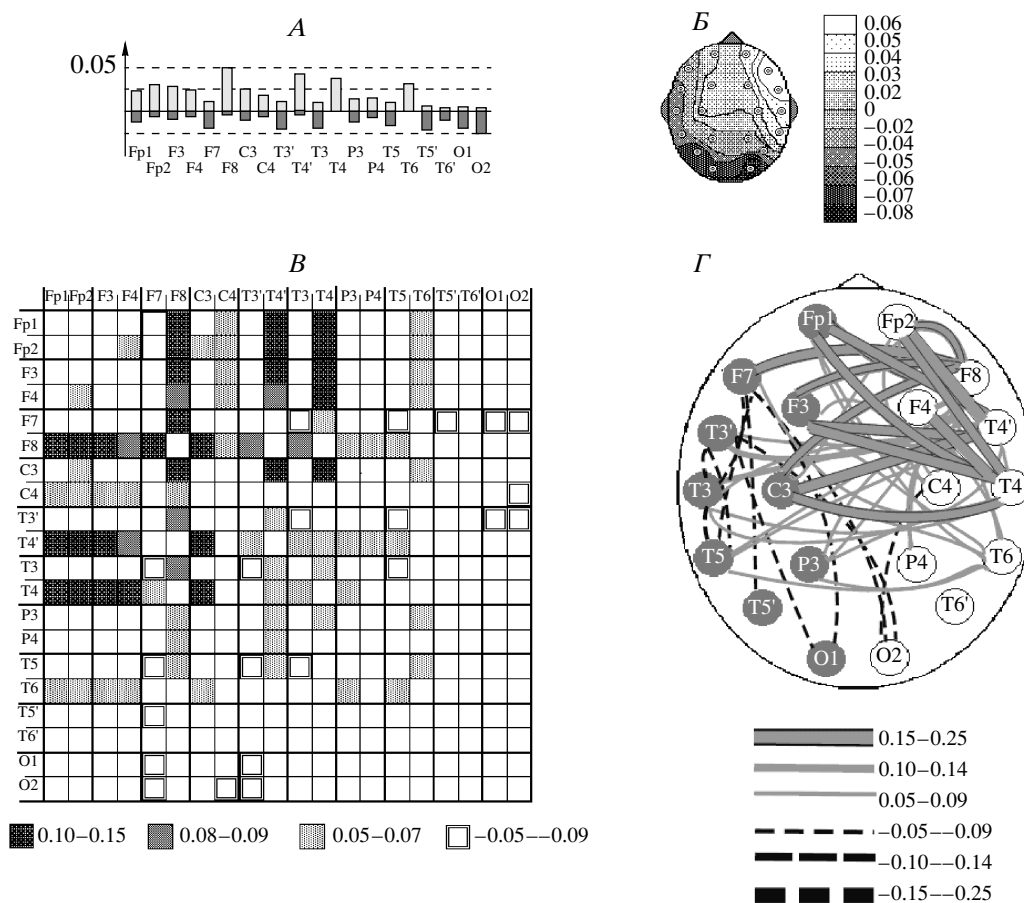


Рис. 3. Перестройки пространственной структуры статистического взаимодействия биопотенциалов мозга при обнаружении испытуемыми ($N = 18$) заданного шумового сигнала из ряда других, предъявляемых на слух, по отношению к фоновому состоянию.

Обозначения согласно рис. 1.

ся межполушарные взаимодействия между различными зонами коры, особенно височных, нижнелобных и центральных отделов, при весьма небольших изменениях уровня корреляционных связей ЭЭГ в пределах каждого из полушарий.

В третьей серии наблюдений испытуемые должны были среди бинаурально подаваемых через наушники шумовых сигналов (таких, как звук электробритвы, телефонного звонка, скрип двери, стук молотка и т.п.) опознать заданный сигнал.

Наблюдаемые изменения пространственной структуры дистантных связей ЭЭГ при выполнении этого задания имели существенные отличия от результатов, полученных при выполнении вербальных тестов. Как видно из карты-мэппинга на рис. 3, Б, при опознании шумовых сигналов наблюдается максимальное усиление дистантных связей ЭЭГ нижне-лобного и височных отделов правого полушария (отведения F8, T4', T4, T6 на рис. 3, А, Б), при значительном понижении по отношению к фону ипсилатеральных взаимодей-

вий между БЭА височных и окципитальных отделов левого полушария (рис. 3, В, Г). Такое достоверное уменьшение взаимосвязей ЭЭГ нижнелобных, височных и затылочных отделов в левом полушарии не отмечалось при выполнении обоих вышеописанных вербальных тестов. Как видно из рис. 3, Г, изменения дистантных связей ЭЭГ нижне-лобного и височных отделов правого полушария (F8, T4', T4, T6) носили смешанный характер, т.е. по отношению к фоновому состоянию усиливались как внутри, так и межполушарные связи ЭЭГ. Достоверно увеличивались значения КК ЭЭГ между процессами в височной коре правого полушария с лобными отделами обоих полушарий и височными отделами левого.

Однако, несмотря на указанные существенные различия, необходимо подчеркнуть и определенные сходные черты в реорганизации межрегионального взаимодействия различных отделов коры обоих полушарий, происходящей при опознании шумовых сигналов и при анализе акустически предъявляемого вербального материала. Как и

при выполнении вербальных заданий, усиливались билатерально-симметричные связи между ЭЭГ височных отделов обоих полушарий (т.е. между отведениями Т3'-Т4', Т3- Т5-Т6, рис. 3, В). Стоит подчеркнуть также наличие достоверных, хотя и не очень значительных (в пределах 0.05–0.07) изменений дистантных связей ЭЭГ правой средневисочной зоны (Т4), с ЭЭГ нижнелобных, центральных и средневисочных отделов левого полушария (F7, Т3) при выполнении теста на опознание шумовых сигналов.

Таким образом, проведенное сопоставление полученных данных указывает на наличие специфических для вербально-аналитической деятельности изменений пространственной структуры межцентральных взаимодействий, хотя при этой деятельности, очевидно, в какой-то мере актуализируются и межцентральные взаимодействия, имеющие отношение к функциональной системе, ответственной за процесс опознания не только вербальных, но и любых других стимулов. К этой системе особое отношение могут иметь дистантные межполушарные связи височных отделов правого полушария. Обсуждение

Анализ литературных данных и результатов нашего исследования показывает, что реализация речевых функций требует вовлечения в деятельность многих отделов коры обоих полушарий. В литературе появляется все больше данных о совместной и взаимодополняющей роли обоих полушарий в процессе осуществления речевой функции (Симерницкая, 1985; Галунов и др., 1988; Черниговская и др., 1996; Баллонов и др., 1999; Friederici et al., 2003). Различные стадии обработки речевой информации и различные когнитивные задачи, решаемые испытуемым, вовлекают и различные уровни и зоны мозга, подтверждая концепцию (Лурия, 1973; 1975) о динамической локализации психических функций.

По данным ЭЭГ, различные виды вербально-мнестической деятельности приводят к специфической и статистически значимой реорганизации связей между биоэлектрической активностью дистантно разобщенных отделов коры больших полушарий. Ранее в нашей лаборатории было показано (Шеповальников и др. 1991; Шеповальников, Цицерошин, 1999; Цицерошин и др. 2000; Гальперина, 2003), что при выполнении таких вербально-мнестических заданий как счет в уме, прослушивание стихотворения с запоминанием и его мысленное воспроизведение наиболее ярко проявляется усиление взаимодействия задних отделов левого полушария с передними – правого. В левом полушарии это были задне-височные и теменные отделы и, в несколько меньшей мере, лобные и передневисочные, которые в свою очередь в правом полушарии характеризовались максимальными изменениями системного взаи-

модействия потенциалов. Подобного вида “диагональный” тип возрастания статистических взаимосвязей ЭЭГ задних и передних отделов коры левого и правого полушарий был описан при вербально-мнестической деятельности также и Иваницким А.Г. с соавт. (Иваницкий и др., 2002).

В свою очередь данные, полученные в нашем исследовании, показывают, что при выполнении испытуемыми вербальных заданий с превашированием аналитической составляющей, т.е. при опознании грамматических и семантических ошибок в предъявляемых на слух предложениях, происходят характерные изменения пространственной структуры межрегионального взаимодействия различных отделов коры со значительно более выраженным усилением межполушарного взаимодействия, особенно височных долей обоих полушарий, при весьма небольших изменениях уровня корреляционных связей ЭЭГ в пределах каждого из полушарий. В обоих случаях усиливались билатерально-симметричные связи между отведениями ЭЭГ в височных отделах коры обоих полушарий и – межполушарные связи ЭЭГ правой средневисочной зоны с ЭЭГ нижнелобных и височных отделов левого полушария, включая зоны Брока и Вернике.

Данные ряда авторов, полученные при помощи ЯМР-сканирования, указывают, что процессы, связанные с грамматическими задачами активируются в большей мере нижнелобные и височные отделы коры левого полушария. Так, Мицели с соавт. (Miceli et al., 2002), было показано, что грамматическая задача определения рода “активизировала” области левой средней и нижней лобной извилин и левой средней и нижней височной, а по данным Фредеричи с соавт. (Friederici et al., 2003), в процесс реагирования на синтаксически некорректные предложения “вовлекались” левая передняя височная извилина, и левая задне-лобная, смежная с областью Брока. Судзуки с соавт. (Suzuki et al., 2003), исследуя синтаксическую деятельность при помощи ЯМР при предъявлении нормативных и ненормативных предложений, показали, что процессы обработки информации в синтаксической деятельности вызывают активацию в левой нижней лобной извилине. По данным Хагурт и Кутас (Hagoort, Kutas 1995), полученным при помощи анализа потенциалов, связанных с событиями, тот из компонентов ВП, который отличался “чувствительностью” к синтаксически неправильному завершению предложения (т.е. грамматической ошибке), имел максимальные значения в левой лобно-передне-височной области.

В процессе обнаружения испытуемыми семантических ошибок в предъявляемых на слух предложениях в пространственно-временной структуре межрегиональных взаимодействий биопотен-

циалов выявились определенные отличия. В этом случае в большей мере, чем при опознании грамматических ошибок, усиливаются дистантные связи ЭЭГ зоны Брока, изменения которых по отношению к фону становятся максимальными, как и значения изменений КК ЭЭГ для зоны Вернике. Таким образом, по нашим данным, следует ожидать более сильного “вовлечения” зоны Брока в процессы семантического анализа, чем грамматического, в то время как зона Вернике в обоих видах анализа вербального материала “участвует” примерно равноценно. Эти данные совпадают с мнением ряда авторов (Posner et al., 1988; Abdullaev, Vechtereva, 1993) об участии зоны Брока в обработке семантической информации. Так по данным (Devlin et al., 2003), полученным с (методом) ЯМР семантические процессы активируют ряд областей, включая передние и задние части левой нижней префронтальной коры.

При обоих видах деятельности пространственная структура изменений дистантных связей ЭЭГ зоны Вернике была практически идентичной. И в том и другом случае усиливались межполушарные взаимодействия активности этой зоны со всеми отделами противоположного полушария, особенно с центральными и височными отделами (см. разностные матрицы и схемы связей на рис. 1, В, Г и рис. 2, В, Г). Это в какой-то мере согласуется с данными, полученными на основании ПЭТ исследований (Воробьев и др. 1998), хотя, по их мнению, задняя часть левой верхневисочной коры (зона Вернике) наиболее вероятно участвует в произвольном семантическом анализе, и менее вероятно – в обработке синтаксической структуры. Подчеркнем, что экспериментальные данные о “вовлечении” зоны Вернике в процессы семантического анализа неоднозначны: по данным ПЭТ (Menard et al., 1996; Медведев и др., 1997), зона Вернике принимает участие в семантическом анализе, по результатам другого ПЭТ-исследования (Petersen et al., 1988), эта зона мозга не участвует в семантической обработке.

Обнаруженное нами усиление билатерального взаимодействия активности височных долей обоих полушарий (передних, средних и задних отделов) при выполнении испытуемыми тестов по обнаружению грамматических и семантических ошибок, может свидетельствовать об одновременном использовании различных способов обработки вербальной информации, “присущих” правому и левому полушариям (Галунов и др., 1986; Балонов и др., 1999) и необходимости сравнения воспринимаемого вербального материала с эталонами, хранящимися в памяти, к которой височные отделы имеют непосредственное отношение (Penfield, 1969). При помощи ЯМР-исследования Фредеричи с соавт. (Friederici et al., 2003) показали, что при прослушивании семантически или синтаксически некорректных предложений в зна-

чительной мере в деятельность вовлекались передневисочные области обоих полушарий. Прослушивание предложений с семантическими отклонениями “активировало” билатерально симметричные части верхней височной области и инсулярной коры.

Анализ полученных результатов подводит к вопросу, в какой мере усиление межполушарных системных взаимодействий кортикальных полей отражает нейрофизиологические процессы, действительно связанные с опознанием семантических и грамматических ошибок в вербальном материале? Такой вопрос не тривиален, поскольку нельзя исключить, что в исследуемых случаях изменения структуры межполушарного взаимодействия могут отражать в большей мере сам процесс опознания любых сигналов, а не только речевых. Так, обращаясь к данным, полученным ранее в нашей лаборатории, можно указать, что такое же значительное усиление межполушарных взаимосвязей ЭЭГ, а также повышенная “вовлеченность” височного отдела правого полушария, были характерны и в случае выполнения корректурных тестов, составленных из букв либо из изображений лиц, хотя во втором случае этот тест не носил вербально-мнестического характера (Шеповальников и др., 1991; Цицерошин, 1997). В работе Е.И. Гальпериной (Гальперина, 2003) при выполнении взрослыми и детьми стереогностического теста на опознание с помощью ощупывания правой и левой рукой небольших фигурок было показано значительное усиление межполушарных взаимодействий различных отделов коры, что на разностных матрицах КК ЭЭГ проявлялось в виде “шахматного паттерна” изменений.

Полученные в специальной серии исследований результаты показали, что при выполнении задания на опознание заданного невербального шумового сигнала среди ряда других, изменения пространственной структуры дистантных связей ЭЭГ имели как существенные отличия, так и определенное сходство с результатами, полученными при выполнении вербальных тестов. Отличия заключались в том, что при опознании шумов максимальное усиление дистантных связей ЭЭГ было характерно для нижнелобного и височных отделов правого полушария, а в левом полушарии выявилось значительное понижение по отношению к фону ипсилатеральных взаимодействий между БЭА височных и окципитальных отделов. Выявляемое в правом полушарии статистически достоверное усиление ипсилатеральных корреляционных связей ЭЭГ согласуется с имеющимися в литературе сведениями о ведущей роли правого полушария в процессах восприятия неречевых звуковых образов (Балонов, Деглин, 1976).

В свою очередь сходство структуры межрегионального взаимодействия различных отделов коры обоих полушарий при обоих видах деятельности проявлялось в усилении межполушарных связей ЭЭГ, в том числе билатерально-симметричных связей височных отделов обоих полушарий, а также между ЭЭГ средневисочной зоны правого полушария и ЭЭГ нижнелобных и центральных отделов левого полушария. Таким образом, проведенное сопоставление полученных данных позволяет сделать вывод, что при вербально-аналитической деятельности, связанной с опознанием грамматических и семантических ошибок, очевидно, в какой-то мере актуализируются также и межцентральные взаимодействия, имеющие отношение к функциональной системе, ответственной за процесс опознания не только вербальных, но и любых других стимулов. К этой системе особое отношение могут иметь дистантные межполушарные связи височных отделов правого полушария.

ВЫВОДЫ

– При анализе пространственно-временной организации поля биопотенциалов мозга при восприятии испытуемыми на слух вербального материала, содержащего грамматические или семантические ошибки, были выявлены специфические по отношению к выполняемой деятельности изменения дистантных связей ЭЭГ, имеющие как значительное сходство, так и некоторые различия. И в том, и в другом случае значительно усиливаются межполушарные взаимодействия между биопотенциалами различных зон коры при почти полном отсутствии изменений по отношению к фоновому состоянию уровня ипсилатеральных связей ЭЭГ.

– При выполнении обоих тестовых заданий усиливались билатерально-симметричные связи между ЭЭГ височных долей обоих полушарий и межполушарные связи ЭЭГ правой средне-височной зоны с ЭЭГ нижнелобных и височных отделов левого полушария, включая зоны Брока и Вернике. Однако при выполнении задания по обнаружению семантических ошибок в большей мере, чем при опознании грамматических ошибок, усиливались дистантные связи ЭЭГ зоны Брока.

– При опознании испытуемыми различных невербальных шумовых сигналов наблюдалось максимальное усиление дистантных связей ЭЭГ нижнелобного и височных отделов правого полушария при значительном понижении по отношению к фону ипсилатеральных взаимодействий между БЭА височных и окципитальных отделов левого полушария. Эти данные позволяют полагать, что при осуществлении испытуемыми речевых заданий аналитического характера, одно-

временно актуализируются и межцентральные взаимодействия, имеющие отношение к функциональной системе, ответственной за процесс опознания не только вербальных, но и любых других стимулов. К этой системе особое отношение могут иметь дистантные межполушарные связи височных отделов правого полушария. Работа поддержана грантом РФНФ № 03-06-00311а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балонов Л.Я., Деглин В.Л.* Слух и речь доминантного и недоминантного полушарий. Л.: Изд-во Наука, 1976. 218 с.
- Балонов Л.Я., Деглин В.Л., Черниговская Т.В.* Функциональная асимметрия мозга в организации речевой деятельности // Хрестоматия по нейропсихологии. М.: 1999. С. 312–319.
- Воробьев В.А., Коротков А.Д., Пахомов С.В., Рождественский Д.Г., Рудас М.С., Бехтерева Н.П., Медведев С.В.* Мозговое обеспечение обработки зрительнопредъявляемых речевых стимулов на различных уровнях их интеграции. Сообщение II. Орфографические и синтаксические аспекты // Физиология человека. 1998. Т. 24. № 4. С. 5:–63.
- Галунов В.И., Королева И.В., Шургая Г.Г.* Взаимодействие двух полушарий мозга в процессе восприятия речевой информации./Восприятие речи: Вопросы функциональной асимметрии мозга/под ред. Морозова В.П., Вартанян И.А., Галунова В.И. и др. Л.: Изд-во Наука, 1988. 134 с.
- Гальперина Е.И.* Возрастные особенности системной реорганизации пространственно-временных отношений биопотенциалов мозга у детей и взрослых при различных видах деятельности. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. СПб.: 2003. 20 с.
- Жамбю М.* Иерархический кластер-анализ и соответствия. М.: Финансы и статистика, 1988. 342 с.
- Иваницкий Г.А., Николаев А.Р., Иваницкий А.М.* Взаимодействие лобной и левой теменновисочной коры при вербальном мышлении // Физиология человека. 2002. Т. 28. № 1. С. 5–11.
- Лурия А.Р.* Основы нейропсихологии. М.: Изд-во МГУ, 1973. 279 с.
- Медведев С.В., Бехтерева Н.П., Воробьев В.А., Рудас М.С., Пахомов С.В. и др.* Мозговое обеспечение обработки зрительно предъявляемых речевых стимулов на различных уровнях их интеграции. Сообщение I. Семантические и моторные аспекты // Физиология человека. 1997. Т. 23. № 4. С. 9–13.
- Симерницкая Э.Г.* Мозг человека и психические процессы в онтогенезе. М.: Изд-во МГУ, 1985. 190 с.
- Стрелец В.Б.* Картирование биопотенциалов мозга при эмоциональной и когнитивной патологии // Журнал Высшей нервной деятельности. 1997. Т. 47. № 2. С. 226.
- Цицеришин М.Н.* Отражение системной деятельности мозга в пространственной структуре ЭЭГ у взрослых и детей. Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. СПб.: 1997. 37 с.

- Цицерошин М.Н., Погосян А.А., Гальперина Е.И., Шеповальников А.Н. Системное взаимодействие кортикальных полей при реализации вербально-мнестической деятельности // Физиология человека. 2000. Т. 26. № 6. С. 21–31.
- Черниговская Т.В., Лях Н.Ю., Токарева Т.И. Латерализация восприятия слов в зависимости от лингвистических факторов // Физиология человека. 1996. Т. 22. № 4. С. 12–17.
- Шеповальников А.Н., Цицерошин М.Н., Левинченко Н.В. “Возрастная минимизация” областей мозга, участвующих в системно обеспечении психических функций: аргументы за и против // Физиология человека. 1991. Т. 17. № 5. С. 28–49.
- Шеповальников А.Н., Цицерошин М.Н. Эволюционные аспекты становления интегративной деятельности мозга человека // Рос. физиол. журнал им. И.М. Сеченова. 1999. Т. 85. № 9–10. С. 1187–1207.
- Abdullaev Y.G., Bechtereva N.P. Neuronal correlate of the higher-order semantic code in human prefrontal cortex in language tasks // Int. J. Psychophysiol. 1993. V. 14. P. 167.
- Devlin J.T., Matthews P.M., Matthew F.S. Rushworth Semantic processing in the left inferior prefrontal cortex: a combined functional magnetic resonance imaging and transcranial magnetic stimulation study // J. Cognitive Neuroscience. 2003. V. 15. P. 71–84.
- Friederici A.D., Rüschemeyer Sh.-An., Hahne A., Fiebach Ch. The role of left inferior frontal and superior temporal cortex in sentence comprehension: localizing syntactic and semantic processes // J. J. Cerebral Cortex. 2003. V. 13. № 2. P. 170–177.
- Hagoort P., Kutas M. Electrophysiological insights into language deficits // Handbook of Neuropsychol. 1995. V. 10. P. 105.
- Hagoort P., Brown C.M., Swaab T.Y. Lexical-semantic event-related potential effects in patients with left hemisphere lesions and aphasia, and patients with right hemisphere lesions without aphasia. // Brain. 1996. V. 119. № 2. P. 627–649.
- Menard M.T., Kosslyn S.M., Thompson W.L. et al. Encoding words and pictures: A positron emission tomography study // Neuropsychol. 1996. V. 34. P. 185.
- Miceli G., Turriziani P., Caltagirone C., Capasso R., Tomaiuolo F., Caramazza A. The neural correlates of grammatical gender, an fMRI investigation // J. Cognitive Neuroscience. 2002. № P. 618–628.
- Penfield W. Consciousness, memory and man’s conditioned reflexes // On the biology of learning/eds Harcourt, Brace, Jovanovich, N. York, 1969.
- Petersen S.E., Fox P.T., Mintun M. et al. Positron emission tomography studies of the cortical anatomy of single-word processing // Nature. 1988. V. 331. № 585–589.
- Posner M.I., Petersen S.E., Fox P.T., Raichle M.E. Localisation of cognitive operations in the human brain // Science. 1988. V. 240. P. 1627.
- Suzuki K., Kuniyoshi L.S. An event-related fMRI study of explicit syntactic processing of normal, anomalous sentences in contrast to implicit syntactic processing // Cerebral Cortex. 2003. V. 13. № 13. P. 517–527.

The Role of Hemispheric Interaction in the Process of Mistakes Detection in an Auditory Presented Verbal Material

D. M. Tsaparina, A. N. Shepovalnikov

Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, RAS

194223 Russia, St-Petersburg, Moris Thorez, 44

Verbal material with two kinds of mistakes – grammatical or semantic – was auditory presented to 18 subjects (25 years old average). The analysis of the brain biopotentials spatial organization during the perception of the material revealed changes in distant EEG relations, which were both similar as well as specific to the kind of mistakes. In both cases interhemispheric biopotential relations increased reliably compare to the background level. At the same time almost total absence of intrahemispheric changes of EEG correlations were observed. The increase of contralateral interactions was particularly characteristic for the activity of Broca and Vernicke zones and the middle temporal zone of right hemisphere. Distant EEG relations of Broca zone increased more significantly by the detection of semantic mistakes than grammar ones. Data obtained also showed that by the detection of grammar and semantic mistakes the actualization of intercentral connections occurred which were related to the functional system responsible for the detection not only verbal but any other stimuli.

Key words: spatial-temporal interrelations of EEG, speech, grammatical and semantic mistakes