

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи



00305384 1

СМИТ Наталья Юрьевна

**СВЯЗЬ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖУЩИХСЯ ВОЛН
ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ ЧЕЛОВЕКА С ПОКАЗАТЕЛЯМИ
ЭКСТРАВЕРСИИ И ИНТРОВЕРСИИ**

СМИТ

03.00.13 - физиология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург

2007

31

Работа выполнена в лаборатории электроэнцефалографии НИИ физиологии
им. академика А.А.Ухтомского Санкт-Петербургского государственного университета.

Научный руководитель:

кандидат биологических наук
Канунников Игорь Евгеньевич

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук
Слезин Валерий Борисович

доктор медицинских наук
Резникова Татьяна Николаевна

Ведущая организация:

Институт физиологии им. И.П.Павлова РАН

Защита состоится “22” марта 2007 г. в “16” час. на заседании
Диссертационного совета Д 212.232.10 по защите диссертаций на соискание ученой
степени доктора биологических наук при Санкт-Петербургском государственном
университете (199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, ауд. 90)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке им. А.М.Горького Санкт-
Петербургского государственного университета

Автореферат разослан “16” февраля 2007 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета
доктор биологических наук



Н.П.Алексеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

1.1. Актуальность проблемы. Распространение биопотенциалов по коре головного мозга человека в течение долгого времени привлекает внимание исследователей. Фазовые сдвиги между волнами ЭЭГ в разных отведениях были обнаружены еще в ранних электрофизиологических исследованиях [Lindsley, 1938]. Спонтанные колебания потенциала коры головного мозга возникают в разных точках не одновременно. При многоэлектродной регистрации видно, что, возникнув в одном пункте, колебание распространяется от него по поверхности головы и обегает ее по некоторой траектории. Исследователи по-разному обозначают процесс распространения волн ЭЭГ по коре головного мозга: как переливы [Ливанов, Ананьев, 1960], или как travelling wave [Pitts, McCulloch, 1947], то есть бегущую (движущуюся) волну. Исследования пространственной динамики ЭЭГ в разных диапазонах частот показали, что наибольшая выраженность и регулярность наблюдается для распространяющихся волн альфа-ритма, однако такое распространение достаточно универсально для любой ритмической активности.

Вопрос о природе распространяющихся волн еще далек от своего окончательного решения. Большинство полученных результатов касаются в основном распространяющихся волн альфа-ритма, как наиболее выраженных, и следовательно, удобных для изучения. Многие исследователи [Шеповальников и др., 1979; Верхлютов, 1996; Шевелев, 1997; Каменкович и др., 1997; Барк, 2006] связывают распространение альфа-волн со зрительной функцией. Предполагается, что бегущая волна альфа-ритма является сканирующим волновым процессом, который распространяется от центра зрительного анализатора к периферии и осуществляет “считывание” зрительной информации.

Следует отметить, что наблюдение распространяющихся волн альфа-ритма в различных условиях деятельности, которое необходимо для подробного раскрытия их функциональной роли, связано со значительными трудностями. Как известно, альфа-ритм лучше всего выражен в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами при отсутствии напряженной умственной деятельности [Nidermeyer, Lopes da Silva, 1982]. Открывание глаз, а в ряде случаев и переход к какой-либо умственной

деятельности с закрытыми глазами сопровождается значительным снижением мощности альфа-ритма или полным замещением его высокочастотными бета-ритмами. Мы предполагаем, что наиболее информативными в плане раскрытия свойств распространяющихся волн ЭЭГ в различных функциональных состояниях являются исследования, касающиеся суммарной биоэлектрической активности. В последнее время в литературе накопилось немало данных, описывающих характеристики распространяющихся волн ЭЭГ [Шевелев, Барк, Верхлютов, 2001; Барк, Токарева, Шевелев, 2002; Барк и др., 2005], но их взаимосвязь с индивидуальными особенностями человека исследована недостаточно. Поэтому весьма актуальным является выявление зависимости параметров распространяющихся волн ЭЭГ от психологического типа испытуемого.

1.2. Цель и задачи работы. Основной целью настоящей работы являлось изучение распространяющихся волн ЭЭГ у ярко выраженных экстравертов и интровертов.

Для достижения цели исследования нами были поставлены конкретные задачи:

1. Исследование свойств распространяющихся волн альфа-ритма и распространяющихся волн суммарной биоэлектрической активности;
2. Сопоставление у интровертов и экстравертов следующих характеристик:
 - траекторий альфа-волн;
 - фазового лидерства, скорости и устойчивости распространяющихся волн ЭЭГ во времени;
 - динамики параметров распространяющихся волн в зависимости от экспериментальной ситуации.
3. Выявление у испытуемых корреляций между параметрами распространяющихся волн и результатами психологических тестов.

1.3. Научная новизна. При изучении распространяющихся волн суммарной ЭЭГ использовался принципиально новый метод их картирования. Фазовые отношения оценивались по максимуму кросскорреляционной функции, что устраняет чувствительность к форме волн, а также позволяет анализировать любой частотный состав ЭЭГ без предварительного выделения фрагментов с определенной ритмикой. В отличие от используемого для распространяющихся волн альфа-ритма способа с одним опорным отведением, мы оценивали фазовые сдвиги между соседними отведениями,

что обеспечивает высокую когерентность сопоставляемых колебаний. Метод картирования характеристик фазовой структуры основан на расчете таких параметров, как коэффициент фазового лидерства, скорость распространения волн ЭЭГ и лабильность их направлений. Данные параметры были графически визуализированы в виде векторов, нанесенных на двумерную модель головы, а также в виде цветных паттернов на трехмерной модели. Было показано, что динамика параметров распространяющихся волн ЭЭГ при переходе от одной экспериментальной ситуации к другой различна у экстравертов и интровертов. У экстравертов в зависимости от экспериментальной ситуации значимо чаще изменяется коэффициент фазового лидерства, а у интровертов - скорость распространения волн ЭЭГ. Новыми данными также можно считать отличия в характере распространения волн ЭЭГ у экстравертов и интровертов, обнаруженные в состоянии покоя. Это различия в преобладающей траектории распространяющихся волн альфа-ритма, а также в характере взаимосвязи величины коэффициента фазового лидерства с некоторыми субфакторами теста Айзенка.

1.4. Теоретическое и практическое значение работы. Полученные в данной работе результаты имеют важное значение для понимания нейрофизиологических механизмов, лежащих в основе экстраверсии и интроверсии.

Практическим значением является разработка нового метода визуализации распространяющихся волн ЭЭГ на поверхности головы и сопоставление его с классическими методами регистрации спонтанной ритмической активности. При этом использовалась созданная в лаборатории электроэнцефалографии НИИ физиологии им. академика А.А.Ухтомского Санкт-Петербургского государственного университета "Программа для трехмерной динамической визуализации фазовой структуры электроэнцефалограммы" (авторы Д.Р. Белов, Д.А. Сибаров и О.В. Гетманенко), зарегистрированная в Государственном реестре РФ программ для ЭВМ, номер регистрации 2004612231.

На основании того, что ряд выявленных при помощи нашего метода закономерностей подтверждается предшествующими исследованиями, в которых использовались традиционные методы анализа ЭЭГ, мы считаем, что метод картирования распространяющихся волн ЭЭГ дает полноценную информацию о биоэлектрических процессах в коре головного мозга. Весьма важными являются

различия между экстравертами и интровертами, обнаруженные для спонтанной ЭЭГ в состоянии покоя, которые традиционными методами выявить не удавалось. Мы полагаем, что предложенный нами метод компьютерной визуализации распространяющихся волн может применяться в электрофизиологических исследованиях наряду с классическими методами регистрации спонтанной ритмической активности.

1.5. Основные положения, выносимые на защиту

1. Динамика характеристик распространяющихся волн ЭЭГ обнаруживает следующие половые различия: картина фазового лидерства у мужчин-интровертов устойчива, а у мужчин-экстравертов изменчива в различных экспериментальных ситуациях; скорость распространения волн ЭЭГ у женщин-интровертов изменчива, а у женщин-экстравертов устойчива в различных экспериментальных ситуациях.

2. Для всей выборки испытуемых наблюдается одинаковая картина распределения фазового лидерства ЭЭГ в латеральных отделах: в правом полушарии преобладает опережение волны по фазе, в левом же полушарии опережение и отставание волны по фазе встречаются примерно с одинаковой частотой.

3. У интровертов обнаружена межполушарная асимметрия распределения фазового лидерства ЭЭГ в лобных отделах с преобладанием участков опережения в правом полушарии, что является показателем повышенной активации этих отделов и лежит в основе свойственной интровертам модели поведения.

1.6. Апробация работы. Материалы диссертации были представлены на II Съезде биофизиков России (Москва, 1999); на IV Всероссийской медико-биологической конференции молодых исследователей (Санкт-Петербург, 2001); на Второй международной конференции по когнитивной науке (Санкт-Петербург, 2006).

Данная работа выполнялась в рамках программы Федерального агентства по образованию Российской Федерации (программа № 4687, 2005), а также была поддержана персональным грантом “Соросовские студенты” № s00-435 (2000) и персональной государственной стипендией Правительства Российской Федерации (2005).

1.7. Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 статьи, 2 из них в рецензируемых журналах и 3 работы в сборниках трудов научных конференций, общим объемом 62 страницы, из которых вклад автора составляет 70%.

1.8. Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, описания методов исследования, изложения результатов исследования, обсуждения результатов, выводов, списка цитируемой литературы и приложения. Материал диссертации изложен на 215 страницах машинописного текста, иллюстрирован 22 рисунками и 3 таблицами, снабжен приложением из 14 таблиц. Список цитируемой литературы включает 225 источников, из них 126 на иностранном языке.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось на базе лаборатории электроэнцефалографии ФНИИ им. А.А.Ухтомского Санкт-Петербургского государственного университета.

В качестве испытуемых приглашались практически здоровые люди (студенты II курса биолого-почвенного факультета и сотрудники СПбГУ). С использованием стандартного и расширенного теста Айзенка для выявления ярко выраженных экстравертов и интровертов, а также теста САН (самочувствие, активность, настроение) и теста Спилбергера-Ханна для выявления уровня реактивной и личностной тревожности [Психологические тесты, 1999] было протестировано 190 человек. Из них для участия в экспериментах было отобрано 39 испытуемых (19 ярко выраженных экстравертов и 20 ярко выраженных интровертов). В экспериментах по изучению распространяющихся волн альфа-ритма участвовали 11 человек (6 мужчин и 5 женщин в возрасте от 18 до 50 лет, средний возраст 28 лет). В экспериментах по изучению распространяющихся волн суммарной ЭЭГ приняли участие 28 испытуемых (14 мужчин и 14 женщин в возрасте от 18 до 34 лет, средний возраст испытуемых 19,5 лет).

ЭЭГ регистрировалась на 16-канальном электроэнцефалографе "Медикор 16s" (Венгрия). Использовался монополярный способ отведения относительно объединенного референтного электрода на мочках ушей. ЭЭГ регистрировалась в состоянии покоя и при выполнении зрительно-пространственных заданий при открытых и при закрытых глазах. В качестве зрительно-пространственного задания при открытых глазах испытуемым предлагалось рассмотреть картину, в качестве зрительно-пространственного задания при закрытых глазах - мысленно воспроизвести ее.

При изучении распространяющихся волн альфа-ритма 16 электродов расставлялись по специально разработанной нами схеме. В каждом полушарии от

опорных отведений в затылочном полюсе, соответствующих отведениям О1 и О2 системы Джаспера 10-20, расходились две цепочки электродов - в направлении теменных и височных долей. ЭЭГ вводилась в компьютер с частотой дискретизации 500 Гц. Длина фрагмента ЭЭГ, регистрируемого для каждой экспериментальной ситуации, составляла 20 с.

При изучении распространяющихся волн суммарной ЭЭГ 15 электродов расставлялись по схеме, разработанной на основе системы Джаспера 10-20 (сокращенный вариант без височных цепочек). От затылочной до лобной зоны проходило три параллельных цепочки по 5 электродов в каждой. Длина фрагмента ЭЭГ, регистрируемого для каждой экспериментальной ситуации, составляла 2 минуты. ЭЭГ вводили в компьютер с частотой дискретизации 630 Гц. Математическая обработка суммарной ЭЭГ после удаления из записи артефактных участков осуществлялась с помощью специально разработанных в нашей лаборатории компьютерных программ.

Распространение волн альфа-ритма изучалось путем выявления смещения экстремумов альфа-волн относительно опорных отведений в затылочном полюсе. Альфа-волна в каждом отведении соответствующей цепочки сравнивалась с альфа-волной в опорном отведении. опережение или отставание определялось по положению максимума кросскорреляционной функции. В анализ было взято процентное отношение волн, распространяющихся в противоположных направлениях относительно затылочного полюса, для каждой экспериментальной ситуации.

Выявление распространяющихся волн суммарной ЭЭГ осуществлялось с помощью пакета специально разработанных в нашей лаборатории программ, принцип работы которых заключается в разбиении электродного поля на прямоугольные треугольники, в качестве вершин которых выступали соседние электроды. Таких треугольников получилось 32, и в дальнейшем расчеты выполнялись независимо для каждого из них. Относительно опорной точки, которой являлась вершина прямого угла, в отсчетах аналого-цифрового преобразователя измерялись отставания или опережения колебаний ЭЭГ в двух других вершинах данного сегмента через отыскание максимума кросскорреляционной функции. По полученным двум ортогональным сдвигам оценивались направление и относительная скорость бегущей волны в пределах данного сегмента. Эти два показателя можно было изобразить в виде вектора, построенного из центра треугольника. При этом направление характеризуется углом, а скорость

распространения волны кодируется длиной вектора. Для каждой из опорных точек, полученных на основе структуры из 32 векторов, рассчитывался коэффициент фазового лидерства (КФЛ) по направлению движения волн ЭЭГ. Высокое значение свидетельствует о том, что в данной области наблюдаются ранние фазы колебаний ЭЭГ, при этом вектора направлены в сторону от рассматриваемого участка. Низкое значение коэффициента фазового лидерства говорит о запаздывании волны ЭЭГ по фазе на данном участке, при этом вектора направлены внутрь участка. Из-за характерного направления векторов участки опережения условно названы нами “фокусами”, а участки отставания - “воронками”.

Для построения трехмерных картин фазового лидерства волн ЭЭГ для каждой из точек стока или разбегания потенциалов рассчитывался коэффициент на основании конфигураций окружающих эту точку векторов. В общей сложности получился 41 КФЛ, картированных на поверхности головы. В реальной трехмерной модели коэффициент фазового лидерства визуализировался в виде цветного узора на поверхности головы.

Кроме КФЛ, вычислялись также два следующих параметра распространяющихся волн ЭЭГ:

Локальный показатель фазового сдвига (ЛПФС) - это время отставания или опережения колебания ЭЭГ между соседними отведениями, измеряемое в миллисекундах. ЛПФС обратно пропорционален скорости бегущей волны.

Лабильность направления векторов (ЛНВ) - мера того, насколько часто и резко меняется направление векторов от одной эпохи анализа к другой, вычисляется по следующей формуле: $ЛНВ = \text{tg}1 - \text{tg}2$

$\text{tg}1$ - тангенс угла, характеризующего направление вектора, в рассматриваемой эпохе анализа; $\text{tg}2$ - тангенс угла, характеризующего направление вектора, в предшествующей эпохе анализа. Высокие значения ЛНВ говорят о лабильности, а низкие – об устойчивости направлений распространяющихся волн ЭЭГ во времени.

Трехмерные картины для динамики локальных показателей фазового сдвига и лабильности векторов строились так же, как и для КФЛ. Полученные топограммы можно было просматривать в виде анимационного ролика, в котором каждая эпоха анализа, равная 0.1 с, выступает в роли отдельного кадра. Для визуальной и статистической обработки данных мы усреднили фазовые структуры для каждой

двухминутной экспериментальной ситуации. Эти данные можно представить в виде таблицы соответствующих коэффициентов или в виде цветной топограммы.

В группах экстравертов и интровертов сравнивалось количество “фокусов” и “воронок” в передних, центральных и затылочных областях. Также сравнивалось распределение “фокусов” и “воронок” в правом и левом полушарии. Аналогично рассматривались картины скорости и лабильности распространяющихся волн.

Для статистической обработки динамики параметров суммарной ЭЭГ применялся корреляционный анализ. Вычислялись коэффициенты корреляции между численными значениями КФЛ и ЛПФС в различных экспериментальных ситуациях. Для выявления достоверных различий между группами испытуемых использовался критерий знаков. Для выявления взаимосвязи между результатами психологических тестов и параметрами распространяющихся волн суммарной ЭЭГ вычислялись коэффициенты корреляции между этими показателями в лобных (отведения Fp1, Fp2 и F3, F4) и затылочных отделах (отведения O1, O2 и P3, P4).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При изучении распространяющихся волн альфа-ритма наиболее четкие закономерности выявлены для преобладающего направления волны в цепочках электродов, проходящих от затылочного полюса в сторону теменных долей. У интровертов преобладают волны, бегущие от теменных долей к затылочному полюсу. У экстравертов преобладают волны, распространяющиеся в противоположном направлении. Для суммарной ЭЭГ преобладание участков опережения или отставания волн по фазе существенно различается в левом и правом полушарии. В правом полушарии преобладают “фокусы”, то есть участки, где распространяющиеся волны возникают раньше.

Наиболее ярко различия между экстра- и интровертами в распределении “фокусов” и “воронок” проявляются в лобных отделах правого полушария и затылочных отделах левого полушария. У интровертов количество “фокусов” в лобных отделах правого полушария значительно выше, чем у экстравертов. В затылочных отделах левого полушария участки опережения значительно чаще наблюдаются у экстравертов. В нашей выборке данные различия сильнее выражены у мужчин.

Динамика КФЛ и ЛПФС в зависимости от экспериментальной ситуации различается в подгруппах мужчин и женщин с различным уровнем экстраверсии. Однако в объединенных группах экстравертов и интровертов можно проследить некоторые общие закономерности. У интровертов коэффициент фазового лидерства в основном устойчив. ЛПФС и, как следствие, скорость распространения волн у интровертов значимо чаще изменяется в зависимости от экспериментальной ситуации. У экстравертов наблюдается противоположная картина: скорость распространения волн устойчива, а КФЛ изменяется значимо чаще, чем у интровертов.

Для мужчин различия в динамике бегущей волны в основном касаются фазового лидерства, а для женщин - скорости распространения волн. Следует отметить, что картина распределения фазовых структур в разных отделах коры у мужчин также сильнее различается в зависимости от уровня экстраверсии.

Различия между интровертами и экстравертами обнаружены также среди корреляций результатов психологических тестов с параметрами распространяющихся волн. Показательными в плане различий между экстравертами и интровертами оказались корреляции с субфакторами теста Айзенка "Экстраверсия-интроверсия", а также с результатами теста САН (самочувствие, активность, настроение) и тревожностью по тесту Спилбергера-Ханина. Эти результаты отражены в выводах.

Выявлена положительная взаимосвязь между уровнем рефлексивности и степенью межполушарной асимметрии коэффициента фазового лидерства в лобных отделах, а также между уровнем активности и лабильностью направлений распространяющихся волн в лобных отделах. Для всей выборки испытуемых обнаружены положительные корреляции между величиной КФЛ и показателем "Настроение" в левом полушарии, и отрицательные - между КФЛ и показателем "Самочувствие" в правом. Иными словами, высокие значения КФЛ в левом полушарии наблюдаются при высоких значениях показателя "Настроение". В правом полушарии высокие значения КФЛ наблюдаются при низких значениях параметра "Самочувствие". Таким образом, нейрофизиологические корреляты эмоционального состояния испытуемых, полученные в результате анализа распространяющихся волн, в левом и правом полушарии зачастую являются противоположными. Множественные положительные корреляции между уровнем реактивной и личностной тревожности и

ЛНВ наблюдаются в лобных отделах левого полушария у интровертов и не наблюдаются у экстравертов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Возможно, в основе преобладающего направления движущихся альфа-волн лежит различное соотношение корковых и таламических влияний у интро- и экстравертов. Еще Айзенк [Eysenck, 1967] предположил, что экстравертам свойственны высокие пороги активации ретикулярной формации, а интровертам - низкие. Вследствие этого интроверты испытывают более высокое возбуждение в ответ на экстероцептивные раздражители, а экстравертам требуется постоянный приток стимулов от органов чувств для поддержания необходимого активационного тонуса коры головного мозга. В нашем случае у экстравертов распространение альфа-волн от затылочного полюса вперед может обуславливаться более существенным влиянием притока сенсорной импульсации в зрительные зоны от подкорковых отделов зрительной системы. У интровертов же преимущественное распространение волн альфа-ритма от теменных долей в сторону затылочной области свидетельствует о преобладании корковых источников генерации альфа-ритма [Смит, Белов, 2001]. Преобладание участков опережения в правом полушарии для суммарной ЭЭГ является весьма важным показателем, поскольку этот результат подтверждается предшествующими исследованиями: для альфа-ритма рядом авторов [Liske et al., 1967; Joseph et al, 1969, Егорова, 1973] было также выявлено значимое опережение правого полушария.

Преобладание участков опережения фазового лидерства в каком-либо локусе коры головного мозга свидетельствует, на наш взгляд, о существовании в этой зоне участков активации. Рядом авторов было показано, что преобладание участков активации в правом полушарии чаще встречается у неконтактных детей с чертами социальной отстраненности [Davidson, Fox, 1989; Fox et al., 1995; Schmidt, Fox, 1996]. Согласно опроснику Айзенка [Психологические тесты, 1999], подобные особенности поведения свойственны ярко выраженным интровертам, у которых в нашем случае выявлено значимое преобладание участков опережения в передних отделах правого полушария.

Положительные эмоции зачастую связывают с активностью левого, а отрицательные – с активностью правого полушария. К настоящему моменту доказана справедливость выделения в коре больших полушарий не только традиционного “лево-правого”, но и “передне-заднего” направления при исследовании нейрофизиологических коррелятов эмоций [Афтанас, 2000]. При этом используются принципиально разные модели с условными акцентами на оценочные и переживательные компоненты эмоциональных реакций. По данным ряда исследований, процессы восприятия, оценки и интерпретации эмоциональной информации ассоциируются преимущественно с задними областями коры, а переживание эмоции - с лобными активационными асимметриями [Tucker, Williamson, 1984; Heller, Niscke, 1997; Davidson, Irwin, 1999]. Следует учитывать, что эмоции часто индуцируются зрительными и слуховыми сигналами, поступающими из внешней среды. Тогда выявленное нами у экстравертов преобладание участков активации в затылочных отделах можно связать с тем, что эмоциональный фон у них поддерживается в основном за счет поступления внешней информации. Это и проявляется как преобладание в задних отделах коры “фокусов”, то есть опережения волн ЭЭГ по фазе. У интровертов же более существенную роль должно играть переживание эмоций. При этом внешнее проявление эмоций может быть весьма сдержанным, что трактуется как низкая эмоциональность. Переживание эмоций у интровертов проявляется в ярко выраженной лобной асимметрии в распределении “фокусов” и “воронок”.

Различия в динамике параметров распространяющихся волн у экстравертов и интровертов можно попытаться объяснить исходя из теории Айзенка, согласно которой у экстравертов тонус коры головного мозга обеспечивается главным образом за счет внешних стимулов. Поэтому и характер распространения волн у экстравертов изменяется в зависимости от экспериментальной ситуации. У интровертов же стабильная картина фазового лидерства является видимым проявлением работы внутренних источников активации коры [Кануников и др., 2006].

На основании полученных результатов можно сделать предположение о различии механизмов переработки зрительной информации у экстравертов и интровертов. У экстравертов переход от состояния покоя к выполнению зрительно-пространственного задания сопровождается изменением картины фазового лидерства. Это может быть связано с перестройкой временных функциональных образований, включающих в себя

задействованные в этом процессе участки коры. У интровертов подобной перестройки не происходит. Процесс переработки зрительной информации осуществляется за счет изменения скорости передачи сигналов между входящими в соответствующие функциональные объединения участками. Важно, что наиболее ярко различия в изменении скорости распространения волн между интровертами и экстравертами проявляются при мысленном воспроизведении картины с закрытыми глазами. Изменение скорости распространения волн у интровертов может свидетельствовать об изменении взаимосвязей между ассоциативными зонами коры в отсутствие внешнего притока сенсорных импульсов.

Согласно гипотезе Леви [Levy, 1980], мужской мозг характеризуется более фокальным представительством элементарных функций, а женский - более диффузным. У мужчин подобная локализация функций может отражаться в присутствии каждому испытуемому характерном расположении структур фазового лидерства. При этом у интровертов эта картина будет устойчивой, а у экстравертов - изменчивой вследствие различной чувствительности к внешним воздействиям. Большая стабильность картины фазового лидерства у мужчин-интровертов по сравнению с женщинами может объясняться предположением, что мужчины имеют более высокий уровень неспецифической активации коры [Белов, Кануников, Кавшбая, 1997]. Поэтому именно у мужчин-интровертов ярко проявляется устойчивость картины фазового лидерства к внешним влияниям [Гетманенко и др., 2006]. Также существует предположение, что для женщин характерно более тесное взаимодействие корково-подкорковых структур [Разумникова, 2004, 2005; Вольф, Разумникова, 2006]. Это может объяснять влияние внешних стимулов на скорость распространения суммарной ЭЭГ при открывании глаз и выполнении зрительно-пространственного задания у женщин-интровертов.

Исходя из данных корреляционного анализа, показателем хорошего настроения является активация передних отделов левого полушария, свидетельством которой служат высокие значения КФЛ в этой области. Тогда показателем плохого самочувствия является активация передних отделов правого полушария. Это согласуется с накопленными в литературе данными по спектральным и частотно-пространственным характеристикам ЭЭГ [Sackheim et al., 1982; Костандов, 1983; Русалова, 1987; Афтанас, 2000, Афтанас и др., 2002].

В нашей выборке испытуемых у интровертов с высоким уровнем рефлексивности

межполушарная асимметрия фазового лидерства в лобных отделах выражена сильнее, что может быть связано с преобладанием у них переживательной компоненты эмоциональных реакций. У экстравертов с высоким уровнем активности выше лабильность векторов в лобных отделах левого полушария. Известно, что у детей с экстравертированными чертами поведения наблюдается относительная активация левой лобной коры в состоянии покоя [Fox et al., 1995; Davidson, Fox, 1989]. В нашем случае высокая лабильность направлений волны может также свидетельствовать о повышенной активации левой лобной доли, которая и предопределяет высокий уровень социализации активных экстравертов.

На первый взгляд, картина взаимосвязей между уровнем тревожности по тесту Спилбергера-Ханина и ЛНВ у интровертов близка к переживанию положительного эффекта, поскольку повышенная ЛНВ в левой лобной зоне может также являться свидетельством относительной активации. Однако существуют сведения, что относительная левополушарная активация лобных отделов является ЭЭГ-коррелятом оценки тревожных опасений. Теория тревожности, разработанная Грэм [Gray, 1982], предполагает участие определенных компонентов лимбической системы в совокупности с фронтальными долями коры и их связями со стволом мозга. В нашем случае степень лабильности распространяющихся волн в лобных отделах коры может отражать взаимосвязи корковых и подкорковых компонентов системы, отвечающей за уровень тревожности, которые различаются у экстравертов и интровертов.

ВЫВОДЫ

1. У интровертов волны альфа-ритма распространяются преимущественно от теменных долей в сторону затылочного полюса, а у экстравертов - от затылочного полюса в сторону теменных долей.
2. В зависимости от экспериментальной ситуации у экстравертов изменяется картина фазового лидерства ЭЭГ, а у интровертов - скорость распространения волн ЭЭГ. При этом наблюдаются следующие половые различия: картина фазового лидерства у мужчин-интровертов устойчива, а у мужчин-экстравертов изменчива; скорость распространения волн ЭЭГ у женщин-интровертов изменчива, а у женщин-экстравертов устойчива.

3. Для всей выборки испытуемых наблюдается следующее распределение фазовых структур ЭЭГ в латеральных отделах: в правом полушарии преобладает опережение волны по фазе, в то время как в левом опережение и отставание волны по фазе встречаются примерно с одинаковой частотой.
4. У интровертов обнаружена асимметрия распределения фазовых структур ЭЭГ в лобных отделах с преобладанием участков опережения в правом полушарии, что является показателем повышенной активации этих отделов и лежит в основе свойственной интровертам модели поведения.
5. Высокая лабильность распространяющихся волн ЭЭГ в лобных отделах левого полушария наблюдается при высоком уровне активности испытуемых. В группе интровертов этот результат наблюдается при снижении эмоционального фона и повышении уровня тревожности. Предполагается, что уровень лабильности распространяющихся волн ЭЭГ в левой лобной зоне отражает повышенный уровень эмоционального возбуждения, который имеет положительную окраску у экстравертов и отрицательную - у интровертов.
6. Картирование фазовой структуры ЭЭГ дает новую информацию о биоэлектрических процессах в коре головного мозга и может успешно использоваться наряду с традиционными методами анализа ЭЭГ.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Маркова (Смит) Н.Ю., Белов Д.Р. Индивидуальные особенности пространственной синхронизации спонтанной ЭЭГ человека // Вестник СПбГУ. Сер. 3: Биология. Вып. 2 (№ 10). 1999. С. 98-105.
2. Кануников И.Е., Киселев В.Б., Белов Д.Р., Антонова Е.В., Маркова (Смит) Н.Ю. Фрактальные характеристики электроэнцефалограммы человека // Тез. докл. II съезда биофизиков России. М. 1999. С. 415-416.
3. Белов Д.Р., Смит Н.Ю. Исследование феномена бегущей волны альфа-ритма электроэнцефалограммы человека в разных условиях деятельности // Тез. докл. IV Всероссийской медико-биологической конференции молодых исследователей. СПб. 2001. С. 29-30.
4. Смит Н.Ю., Белов Д.Р. Бегущая волна альфа-ритма ЭЭГ у интровертов и экстравертов // Вестник СПбГУ. Сер.3: Биология. Вып. 3 (№19). 2001. С. 73-85.

5. Белов Д.Р., Колодяжный С.Ф., Смит Н.Ю. Проявление межполушарной асимметрии и психотипа в динамике “бегущей волны” ЭЭГ // Физиология человека. Т. 30. №1. 2004. С. 5-19.
6. Кануников И.Е., Белов Д.Р., Смит Н.Ю., Гетманенко О.В. Связь характеристик движущихся волн ЭЭГ с показателями экстра-интроверсии // Тезисы докладов Второй международной конференции по когнитивной науке. СПб. 2006. Т. 1. С. 295-297.
7. Гетманенко О.В., Белов Д.Р., Кануников И.Е., Смит Н.Ю. Отражение узора кортикальной активации в фазовой структуре ЭЭГ человека // Рос. физиол. журн. им. И.М.Сеченова. 2006. Т.92. №8. С. 930-948.

Подписано в печать 23.01.2007.

Формат бумаги $60 \times 84 \frac{1}{16}$. Бумага офсетная.

Печать ризографическая. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 3924.

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии НИИХ СПбГУ.
198504, Санкт-Петербург, Старый Петергоф, Университетский пр.26