

РАЗДЕЛ 3. ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ

О ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ЗНАЧЕНИИ ГИПОТЕТИЧЕСКОГО КВАНТУЮЩЕГО ПРОЦЕССА В ДЕЛЬТА-ДИАПАЗОНЕ ЭЭГ

О.В. Лаврова, В.Ф. Пятин, Е.Н. Папкина

ВВЕДЕНИЕ

Процессы квантования информации мозгом являются общими для мозговой [7-11] и мыслительной деятельности, а также для поведения. По литературным данным [7, 1 и др.] ведущим квантуемым процессом мозга является 10-герцовая электрическая активность. Несомненно, альфа-ритм является самым изученным и легко поддающимся количественному анализу. Но у части человечества на ЭЭГ визуально не обнаруживается альфа-ритма (хотя в спектрах пик альфа-мощности присутствует), однако при этом не теряется способность к приему и переработке информации. Правомерно предположить, что другие частотные диапазоны ЭЭГ могут обладать своими квантуемыми особенностями. Например, известно, что тета-диапазон имеет полифункциональные характеристики и преобладает в передне-центральных отделах неокортекса [17], которые участвуют в обеспечении функции вероятностного прогнозирования [2, 4]. Дельта-диапазон является индикатором функционального состояния сна. В состоянии бодрствования он встречается только в «детском» мозге. Низкочастотная активность ЭЭГ соотносится с деятельностью подкорковых структур мозга (гиппокамп, лимбическая и стрио-паллидарная системы) [5]. В проведенных нами исследованиях [6] у 16-летних подростков была обнаружена достоверная связь динамики изменений дельта-активности с объективными характеристиками вербальной информации. На первый взгляд, данный низкочастотный процесс квантования мог быть отнесен к возрастным особенностям мозговой деятельности подростков, у которых передние отделы мозга еще находятся на стадии «созревания». Поэтому мы провели новую серию исследований на взрослых испытуемых. По нашей гипотезе, низкочастотная активность ЭЭГ в дельта-диапазоне обеспечивает интенциональные процессы, связанные с субъективной стороной восприятия смысла вербальной информации. Динамика изменений дельта-ритма по результатам предыдущих исследований [6] была достоверно связана с исходным балансом средних и низких частот в фоновой ЭЭГ (типом спектров ЭЭГ) и объективными характеристиками вербальной информации (типом текстов).

Цель настоящего исследования состояла в выявлении достоверно

значимых связей между динамикой изменения дельта-активности и такими факторами, как пол, тип функциональной асимметрии мозга. Наряду с данными факторами, мы уже анализировали связи с динамикой дельта-активности типа спектров ЭЭГ и уровня интеллектуальных способностей (IQ), которые были выявлены нами для другой возрастной группы [6].

МЕТОДИКА

В эксперименте участвовали 58 здоровых испытуемых в возрасте от 18 до 28 лет. Среди них – 28 юношей и 29 девушек. Предметом исследования являлся процесс квантования информации мозгом при восприятии на слух сложных рациональных и иррациональных текстов. Факторные взаимодействия были выявлены только для данных внешних условий. Для установления значимых связей между информационными характеристиками текстов и индивидуальными особенностями динамики мозговой деятельности была создана модель эксперимента, включающая в себя психодиагностику испытуемых, психофизиологический эксперимент, обработку, анализ и интерпретацию экспериментальных данных.

Психодиагностика проводилась при помощи 16-факторного личностного опросника Кеттелла (16 PF) и теста на определение профиля функциональной асимметрии [3]. Основанием для применения данных методов психодиагностики служили научные факты, подтверждающие валидность тестов, а также необходимость количественного измерения уровня вербального интеллекта (шкала В 16 PF) и типа сенсорно-моторных асимметрий. Значения стенов по шкале «В» были использованы в матрицах статистической обработки в качестве фактора «IQ: высокий (значения стенов от 7 до 10), средний (значения стенов от 5 до 6) и низкий (значения стенов от 1 до 4). Типы функциональных асимметрий вводились в матрицы дисперсионного анализа в качестве фактора «тип ФА»: левополушарный профиль (ЛП от 70% до 100%), правополушарный профиль (ПП от 70% до 100%) и равносимметричный профиль (ЛП-ПП 50-60%). Согласно полученным данным, группа испытуемых имела следующее распределение по указанным факторам.

1. По фактору «IQ» – 23 человека имели высокие стенов по шкале «В», 32 человека – среднее значение стенов по шкале «В» и 3 человека – низкие стенов по шкале «В».

2. По фактору «тип ФА» – 27 человек имели левополушарный тип ФА, 26 человек – равносимметричный тип ФА (амбидекстры) и 5 человек – правополушарный тип ФА.

Сравнительный анализ изменений спектров проводился только по двум группам – левополушарным и амбидекстрам. Выборка испытуемых с

правополушарным профилем ФА была незначительной, поэтому данные спектрального анализа ЭЭГ у 5 испытуемых учитывались только при статистической обработке.

Психофизиологический эксперимент был проведен с использованием модели восприятия семантических пространств (импрессивная сторона речевой деятельности). Согласно этой модели использовались два типа текстов – рационально и иррационально организованные. Выбирая текстовый материал, мы опирались на имеющиеся исследования семантических объектов [12, 16].

Смысл содержательно включает в себя рациональные и иррациональные стороны. Dinsmore [12] характеризует рациональное семантическое пространство как семантическую структуру, имеющую логическую и однозначную организацию. Иррациональное семантическое пространство, напротив, обладает многозначностью, незаконченностью, алогичностью. Поэтому в нашем исследовании были подобраны два вида текстов, различающиеся содержательными характеристиками. Предъявляемые тексты различались способом формализации. Первый текст был классифицирован как «рациональный», а второй – как «иррациональный». Тексты читались профессиональным актером (в условиях студийной записи), каждый – около минуты.

Перед экспериментом испытуемым давалась инструкция на понимание смысла сообщения, а не на запоминание. Более того, испытуемым не нужно было пересказывать смысл того текста, который оказался субъективно непонятным. Между этапами прослушивания того или иного текста испытуемые не получали никакой информации в течение одной минуты (пауза). Таким образом, «накладывания» предыдущего влияния информации на последующее не происходило.

Каждый испытуемый участвовал в эксперименте один раз. Общая продолжительность эксперимента составляла 30 минут, «чистое» время записи ЭЭГ равнялось 5 минутам.

Регистрационный блок «Нейрокартограф» включал в себя электроэнцефалограф ЭЭГ-80, соединенный через АЦП с компьютером IBM/PC-AT. Частота квантования составляла 128 измерений в секунду, пределы фильтрации 0,5-30 Гц, чувствительность 5 мкВ. Вторичная обработка производилась с помощью спектрального анализа. Время ввода одной записи ЭЭГ составляло 1 минуту. ЭЭГ отводилась монополярно от симметричных лобных (F3, F4), височных (N5, N6), затылочных областей (O1, O2), зоны vertex (Cz) и центральной теменной зоны (Pz) по международной системе 10-12%. Индифферентные электроды помещались на мочках ушей и были объединены единым входом. Во время записи испытуемые находились в темной звукоизолированной

камере с закрытыми глазами.

Анализ общих и индивидуальных особенностей мозговой деятельности, обеспечивающей процессы отражения семантической организации текстов, осуществлялся на этапе анализа изменений спектральных характеристик ЭЭГ при прослушивании текстов по двум частотным диапазонам ЭЭГ (дельта и альфа) и на этапе анализа межфакторных взаимодействий (по всем шести указанным диапазонам) с использованием многофакторного дисперсионного анализа (MANOVA).

В соответствии с моделью и задачами экспериментального исследования дисперсионному анализу подвергался значительный массив данных, сгруппированный в матрицы. Каждая матрица обрабатывалась по 8 факторам, включенным в дисперсионный анализ в качестве независимых переменных, среди которых были выделены факторы пола, типов ЭЭГ, ФА и IQ.

В общих матрицах было проведено 194 дисперсионных анализа для восьми независимых переменных по 696 зависимым переменным. Зависимыми переменными являлись значения уровней независимых факторов и значения частотных и энергетических показателей спектров ЭЭГ в 6 диапазонах для 58 испытуемых.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Фоновые характеристики ЭЭГ (тип спектров) и их связь с изменениями в дельта-диапазоне во время прослушивания текстов.

Тип спектров определялся для фоновой ЭЭГ по соотношению энергии дельта-ритма во фронтальных областях и энергии альфа-ритма в окципитальных областях [6]. Для данного возраста испытуемых были идентифицированы типы спектров «А» (с преобладанием мощности альфа-ритма) и «В» спектров (с равными значениями мощностей для альфа- и дельта-диапазона). Тип «А» спектров был обнаружен у 27 испытуемых, а тип «В» спектров – у 30 испытуемых. Тип спектров «С» был выявлен только у одного испытуемого из всей выборки, что подтверждает высказанную ранее гипотезу об отношении дельта-ритма к онтогенезу передних отделов мозга [6]. Среди испытуемых с типом спектров «А» оказалось большее число субъектов (60%) с равносимметричным типом ФА. В эту же группу попало большее число девушек (70%). Соответственно, в группе испытуемых с типом спектров «В» оказалось большее число юношей (55%) и субъектов с левополушарным профилем ФА (65%).

Для проведения анализа результатов компьютерной обработки данных было использовано сравнение изменений мощности в дельта-диапазоне с изменениями в альфа-диапазоне ЭЭГ. После усреднения спек-

тральной мощности дельта- и альфа-ритмов были получены гистограммы, в которых отражаются основные тенденции (увеличения-уменьшения) в изменениях мощности данных ритмов при прослушивании текстов по сравнению с фоновым уровнем.

Основной тенденцией в динамике мозговых процессов при восприятии текстов является увеличение мощности альфа-ритма. У испытуемых группы «А» увеличение мощности дельта-ритма происходит намного интенсивнее, чем в группе «В». Данная тенденция наблюдается как в передних, так и в задних областях мозга.

Дисперсионным анализом были выявлены факторные взаимодействия типа спектров ЭЭГ с частотными показателями дельта-ритма с учетом расположения электродов в право-левом и фронтально-окципитальном направлениях ($F=7,5$, $p=0,01$).

2. Профиль функциональной асимметрии (тип ФА) и его связь с изменениями в дельта-диапазоне во время прослушивания текстов.

Мощность дельта- и альфа-ритмов при прослушивании текстов имеет одну преобладающую тенденцию – к увеличению. В группе субъектов с ЛП профилем ФА данная тенденция больше выражена именно в дельта-диапазоне, и особенно – в передних областях мозга. Пространственный «охват» областей мозга, в которых происходит синхронизация мозговых процессов в данном диапазоне, явно различается в группе с ЛП профилем ФА по сравнению с амбидекстрами.

Дисперсионный анализ показал, что межсубъектные различия по фактору «тип ФА» достоверны в дельта-диапазоне и связаны с частотными показателями дельта-активности ($F=4,09$, $p=0,028$). В матрице фоновых показателей выявлены достоверные факторные взаимодействия «типа ФА» с пространственным расположением электродов для бета-2-диапазона ($F=3,29$, $p=0,05$).

3. Межполовые различия и их связь с изменениями в дельта-диапазоне во время прослушивания текстов.

Общие тенденции в изменениях мощности дельта- и альфа-активности при восприятии текстов по сравнению с фоном в группах, дифференцированных по полу, выявляют максимальные различия между полами именно в дельта-диапазоне.

В альфа-диапазоне наблюдаются разнонаправленные тенденции в изменении мощности в левой окципитальной зоне (у юношей – тенденция к снижению, а у девушек – к увеличению). В центральной париетальной зоне мощность альфа-ритма увеличивается у девушек и юношей-амбидекстров. По-видимому, это связано с тем, что в фоновой ЭЭГ у всех амбидекстров, независимо от их половой принадлежности, максимум энергии альфа-активности приходится именно на зону Pz.

В дельта-диапазоне тенденция к увеличению мощности дельта-ритма наиболее ярко выражена в группе девушек. Но если у юношей наблюдается увеличение мощности дельта-ритма в левой фронтальной области, то у девушек оно больше выражено в правой фронтальной зоне. Также явно в группе девушек выглядит увеличение мощности дельта-активности в правой окципитальной области. Следовательно, процесс восприятия текстов вызывает увеличение мощности дельта-ритма в левых фронтальных областях у юношей, а также в правых фронтальных и окципитальных областях у девушек.

Связь изменений мощности дельта-ритма с семантической структурой текстов в группах, дифференцированных по полу, представляется более сложной. Так, прослушивание иррационального текста (по сравнению с рациональным) вызвало увеличение дельта-мощности в группе юношей, особенно в задних областях. В группе девушек мощность дельта-ритма возросла незначительно, но произошло некоторое пространственное ее перераспределение в передне-центральных областях. При прослушивании иррационального текста максимальное увеличение мощности дельта-ритма у девушек наблюдалось в правой окципитальной зоне (более чем в два раза).

Дисперсионный анализ показал, что фактор «пол» имеет достоверные связи ($F=2,26$, $p=0,05$) со спектральными показателями дельта-диапазона только с учетом пространственного расположения электродов (*право-левое и фронтально-окципитальное*). Максимальные значения межфакторных взаимодействий обнаружены в *тета*-диапазоне ($F=4,32$, $p=0,05$).

4. Отражение семантической организации текстов (рациональность-иррациональность) в динамике изменений спектральных показателей дельта-ритма.

Увеличение мощности дельта-ритма при прослушивании текстов на порядок выше, чем изменение мощности альфа-ритма. Дисперсионный анализ позволил провести детализацию данных различий. Межсубъектные различия на трех этапах эксперимента (фон, прослушивание рационального текста и прослушивание иррационального текста) оказались достоверны именно в дельта-диапазоне (как для частотных, так и для энергетических показателей спектров). Изменения в альфа-диапазоне не имели достоверных связей с этапом эксперимента.

Частотные изменения дельта-активности на различных этапах эксперимента зависели от пространственного расположения электродов в право-левом направлении.

Фактор интеллекта был включен только в матрицы дисперсионного анализа. Межсубъектные различия по фактору «IQ» были выявлены в

матрице фоновых частотных значений спектров в дельта-диапазоне ($F=3,83$, $p=0,0033$). Кроме того, именно частотные показатели дельта-ритма достоверно различались у субъектов с различными интеллектуальными способностями на этапах прослушивания рационального и иррационального текстов. Фактор имел достоверное взаимодействие с фактором фронтально-окципитального пространственного расположения электродов для частотных показателей дельта-ритма ($F=2,47$, $p=0,022$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты подтверждают нашу гипотезу о ведущей роли дельта-квантующего процесса мозга при восприятии вербальной информации. Данный процесс кодирования обеспечивает отражение смыслов и является основным в деятельности передних отделов мозга. Роль дельта-активности не уменьшается с возрастом, но отражает иное пространственное распределение по неокортексу и иную степень влияния на мозговые процессы. Так, испытуемые с «А» типом спектров в возрасте 16 лет используют в большей степени альфа-механизм, а в возрасте 18-28 лет, напротив, — дельта-механизм квантования информации. Испытуемые с «В» типом спектров существенно не изменяются с возрастом. И только испытуемые с «С» типом спектров являются особой возрастной группой, встречающейся преимущественно у подростков.

Связь дельта-ритма с активностью зоны vertex также представляет собой особенность подросткового периода созревания мозга. У взрослого человека распределение дельта-ритма по неокортексу происходит не только в передне-центральной, но и в передне-задней и в право-левом направлении, причем характер данного распределения зависит не только от типа ЭЭГ, но и от пола и типа ФА. Анализ результатов данного исследования показывает, что *тип спектров ЭЭГ* является внутренним фактором, от которого зависит динамика дельта-активности при восприятии вербальной информации. Данный фактор является отражением баланса средних и низких частот в фоновой ЭЭГ, который, как показывают наши результаты, влияет даже на эффективность интеллектуальной деятельности. Вторым по значимости фактором, влияющим на динамику дельта-активности, является *фактор пола*. У женщин влияние правого полушария на целостный мозговой процесс выражено значительно больше, чем у мужчин [13-15]. По нашим данным, этот факт также отражается на пространственном распределении дельта-активности по неокортексу, различном для мужчин и женщин. В частности, у женщин преобладает правополушарная синхронизация в низкочастотном диапазоне. По-видимому, подкорковые структуры в значительно большей степени влияют на правое полушарие у жен-

щин, чем у мужчин. Возможно, имеют место межкорковые взаимодействия в низкочастотном диапазоне ЭЭГ, не связанные с деятельностью подкорковых образований.

Тип ФА имеет факторные нагрузки меньше, чем тип спектров ЭЭГ и фактор пола. Поэтому мы относим его к факторам второго порядка. Особое положение при учете фактора «тип ФА» занимает группа амбидекстров, где пространственная локализация процессов, связующих передне- и задне-ассоциативные области мозга, перемещается в центральные зоны неокортекса.

По нашему предположению, дельта-ритм бодрствующего мозга может быть соотнесен с целостным квантующим процессом, обеспечивающим отражение «субъективной реальности». Тогда как процессом квантования информации объективной реальности, скорее всего, является альфа-ритм. Квантующий низкочастотный диапазон имеет противоположное относительно альфа-активности пространственное распределение по конвексительной поверхности мозга – anteriорно-постериорное (от фронтальных отделов к окципитальным). Такое «встречное» взаимодействие двух видов квантующих диапазонов обеспечивает процесс «наложения» субъективных семантических пространств с объективно поступающей в мозг семантической информацией. Она может служить моделью рефлексивных процессов, поскольку в ней отражается механизм «наложения» объективных информационных кодов текущего семантического измерения с порождаемым субъективным семантическим пространством, сравнение которых между собой возможно при некоторой степени автономии этих процессов друг от друга и при существовании некоего «третьего» измерения или пространства, «наблюдающего» за первыми двумя. Ведущую роль в данном взаимодействии играют связи между передне-центральными и темпорально-париетально-окципитальными областями неокортекса, посредством которых осуществляются интенциональные процессы, обеспечивающие различение объективного и субъективного. Данная гипотеза согласуется с гипотезой префронтально-сенсорной полярности Laughlin [23], с данными Petsche [18] и Kimura [13, 15] о достоверных различиях ЭЭГ параметров фона и деятельности, зависящих от пола и сложности задач. Таким образом, дельта-активность бодрствующего мозга является прямой альтернативой изученному альфа-ритму и имеет ведущее функциональное значение при восприятии текстов. Ведь именно этот вид человеческой деятельности связан с личностными смыслами и интенциональными процессами.

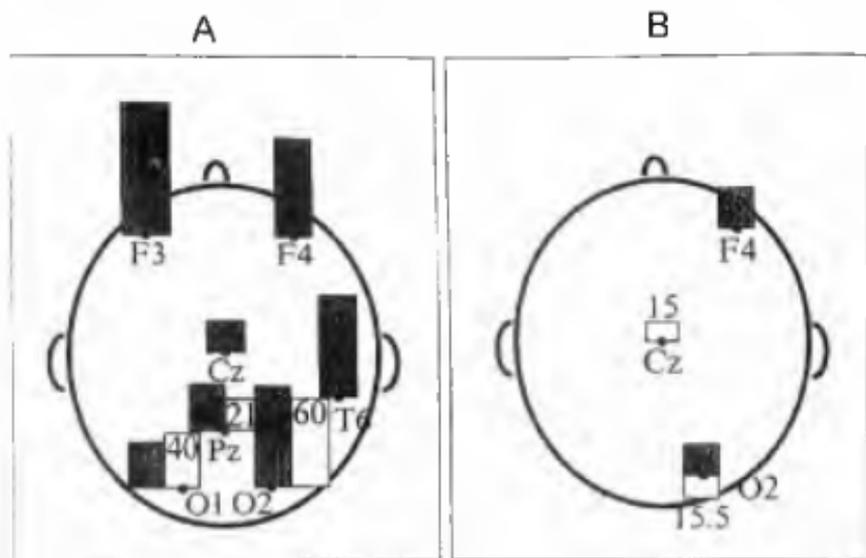
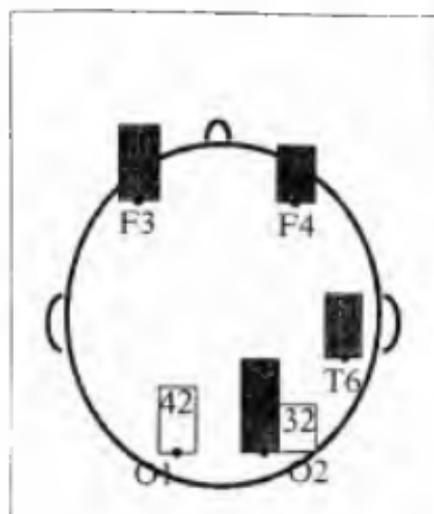
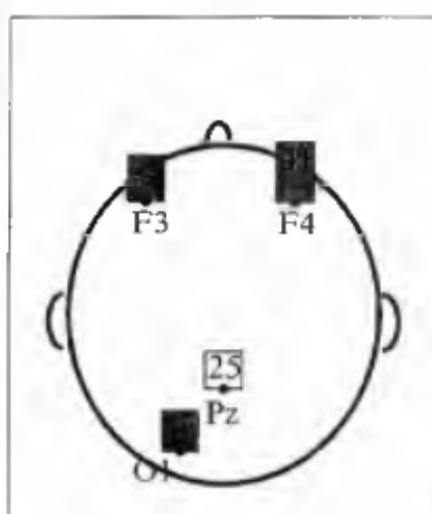


Рис 1. Изменение мощности альфа- и дельта-ритмов ЭЭГ в группах с различным типом спектров (по сравнению с фоном). Условные обозначения: А – первый тип спектров ЭЭГ, В – второй тип спектров ЭЭГ; светлые столбики – альфа-ритм, темные – дельта-ритм.

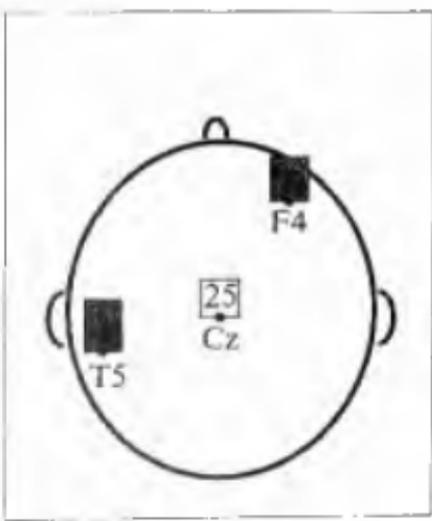
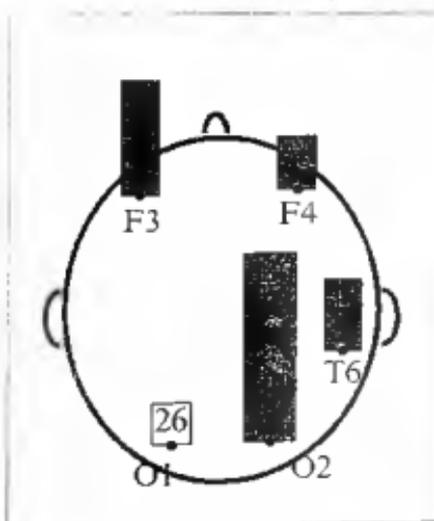
ЛП



А



Рациональный текст

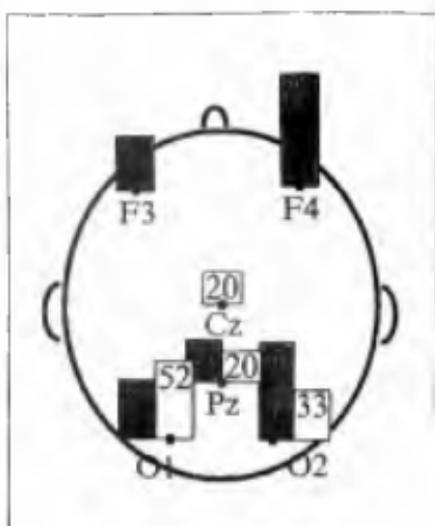
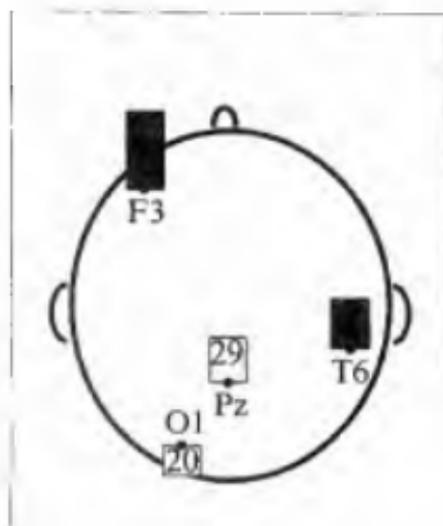


Иррациональный текст

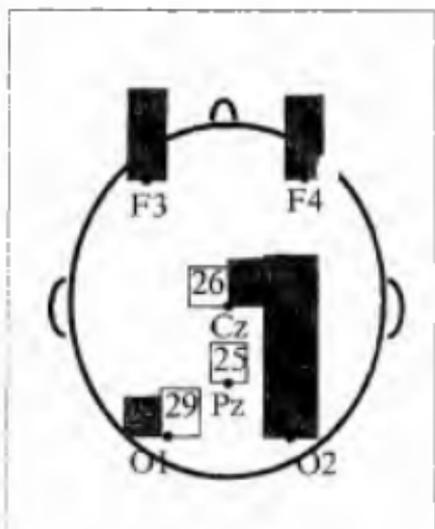
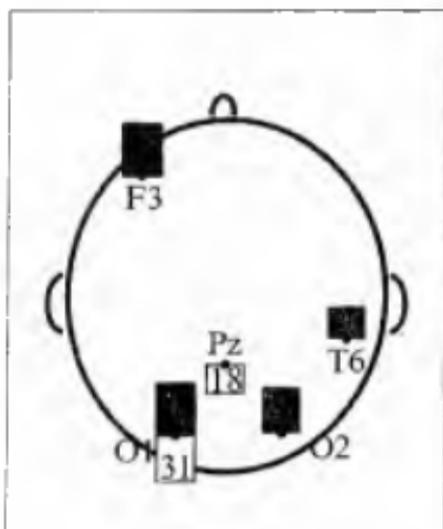
Рис 2 Изменение мощности альфа- и дельта-ритмов ЭЭГ в группах с различным типом ФА (по сравнению с фоном). Условные обозначения. ЛП – левополушарный профиль ФА; А- равносимметричный профиль ФА; светлые столбики – альфа-ритм, темные – дельта-ритм.

М

Ж



Рациональный текст



Иррациональный текст

Рис.3 Изменение мощности альфа- и дельта-ритмов ЭЭГ в группах мужчин (м) и женщин (ж) (по сравнению с фоном). Светлые столбики – альфа-ритм; темные – дельта-ритм

ВЫВОДЫ

1. Частотные показатели дельта-ритма являются модуляторами корково-подкорковых отношений, связанных с эффективностью интеллектуальных процессов и детерминированы фоновыми особенностями ЭЭГ (типа спектров ЭЭГ).
2. Динамика изменений энергетических показателей дельта-активности при восприятии текстов существенно различается в группах, дифференцированных по полу.
3. Рациональная и иррациональная структура текстов различным образом отражается на пространственно-временном распределении дельта-ритма по неокортексу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин А.П., Ата-Муралова Ф.А., Дубинин Н.П., Животовский Л.А. Популяционно-генетический анализ ЭЭГ человека // Докл. АН СССР. 283(2). 1985.
2. Батуев А.С. Высшие интегративные функции мозга. Л.: Наука, 1981.
3. Брагина Н.Н., Доброхотова Т.А. Функциональные асимметрии человека М.: Медицина, 1988.
4. Иваницкий А.М. Поиск мозговых основ сознания // Психофизиологические аспекты целенаправленной деятельности человека. Суздаль, 1992.
5. Киров В.Н. Пространственно-временная организация биоэлектрической активности мозга человека в процессе решения различающихся по сложности мыслительных задач // Нейрофизиологические детерминанты процессов переработки информации человеком. М., 1987.
6. Лаврова О.В. Изменение спектральных характеристик ЭЭГ при восприятии текстов и музыки: к вопросу о межполушарной асимметрии мозга // Псих. журн. 1996. №17(3). С. 108-118.
7. Лебедев А.Н. Гипотеза о нейронных кодах памяти // Актуальные проблемы психифизиологии и нейропсихологии. М., 1991
8. Мальцева И.В., Маркина А.В. Оценка дискретности частотного состава доминирующего ритма ЭЭГ у человека // Актуальные проблемы психифизиологии и нейропсихологии. М., 1991.
9. Пасынкова А.В. и др. Нейрофизиологические предпосылки ограничения количественных характеристик ряда психических процессов // Психифизиологические закономерности восприятия и памяти. М.: Наука, 1985.
10. Поколюхина О.А., Остапенко В.А. Отражение ряда характеристик устного текста в системных показателях ЭЭГ человека // Вест. ЛГУ. Сер.3(3). 1988. С. 53-60.
11. Шустова Л.А. Использование ЭЭГ-показателей для характеристики речевого процесса // Мозг и психическая деятельность. М.: Наука, 1989.
12. Dinsmore J. Mental spaces from a fuctional perspective // Cogn.Sci. 11(1).

1987. P. 1-21.

13. **Kameda K., Kamada T., Kimura Y.** EEG topography during speechrelated mental activities // *Jap. J. Physiol.* 40 (Suppl.). 1991. P.190-191.

14. **Kashibara F.** Significance of EEG factor analytic approach to locational differences of mental functions in normal brain // *Psychologia - an International Journal of Psychology in the Orient*: Sep. Vol. № 31 (3) 1988. P.119-127.

15. **Kimura D., Harchman R.** Sex differences in brain organization for verbal and non-verbal functions // *Sex Differ. Brain: Relat. Between Struct. And Funct.* Proc. 13 th Int. Summer Sch. Brain Res., - Amsterdam. P. 423-439. Discuss. 1984. P. 439-441

16. **Laughlin C.D.** The prefrontosensorial polarity principle. Toward a neurophenomenological theory of intentionality // *Biol. Forum.* № 81 (2). 1988. P. 245-262.

17. **Mizuki Y.** Frontal lobe: Mental functions and EEG // *Amer. J. EEG Technol.* № 27 (2). 91-101. 1987.

18. **Petsche H.** EEG und Denken // *EEG-EMG.* № 21 (4). 1990. P. 207-218.