

Препринт работы:

Верхлютов В.М., Щучкин Ю.В., Ушаков В.Л., Стрелец В.Б., Пирогов Ю.А. Оценка локализации и дипольного момента источников альфа и тета – ритмов ЭЭГ с использованием кластерного анализа в норме и у больных шизофренией // Журн. высш. нервн. деят., 2006, Т.56, N 1, С. 47-55.

УДК 612.822.3+612.821.6

**ОЦЕНКА ЛОКАЛИЗАЦИИ И ДИПОЛЬНОГО МОМЕНТА
ИСТОЧНИКОВ АЛЬФА- И ТЕТА-РИТМОВ ЭЭГ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА
В НОРМЕ И У БОЛЬНЫХ ШИЗОФРЕНИЕЙ**

© 2006 г. В.М.Верхлютов¹, Ю.В. Щучкин², В.Л. Ушаков²,
В.Б. Стрелец¹, Ю.А. Пирогов³

¹ *Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН,
Москва,*

² *Московский инженерно-физический институт,*

³ *Центр магнито – резонансной томографии и спектроскопии
Московского государственного университета им. М В Ломоносова,*

Поступила в редакцию 06.06.2005 г.

Принята в печать 07.10.2005 г.

e-mail: verkhliutov@mail.ru

У 12 здоровых испытуемых и у 9 больных шизофренией записывали ЭЭГ от 16 стандартных отведений по системе 10-20 в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами в течение 3 мин. Запись анализировали с применением спектрального анализа, определяя центральную частоту альфа- и тета - ритмов. После предварительной узкополосной фильтрации с использованием основных частот локализовали источники спонтанных ритмов. Данные локализации суммировали для всех испытуемых и больных. С помощью кластерного анализа идентифицировали кластеры источников в затылочных, теменных долях, в лимбической коре и гиппокампе для альфа-ритма и в области лобной, височной, теменной долей, лимбической коре и гиппокампе для тета- ритма. У больных шизофренией по сравнению с нормой выявили статистически достоверное увеличение числа дипольных локализаций источников альфа-ритма в кластерах, локализованных в лимбической коре и гиппокампе. Для тета-ритма статистически достоверно показано увеличение дипольного момента источников в кластерах, находящихся в областях височной, лобной коры и в гиппокампе у больных по сравнению со здоровыми испытуемыми.

Ключевые слова: ЭЭГ, альфа - ритм, тета - ритм, локализация источников, гиппокамп, лимбическая кора, шизофрения, кластерный анализ.

**Estimation of Localization and Dipole Moment
of Alpha- and Theta-Rhythm Sources by Cluster Analysis
in Healthy Subjects and Schizophrenics**

**V.M. Verkhlyutov, Yu. V. Shchuchkin, V. L. Ushakov,
V.B.Strelets, Yu.A. Pirogov.**

Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology,
Russian Academy of Sciences,
Research Center for Magnetic Tomography and Spectroscopy
Lomonosov State University,
Moscow Engineering Physics Institute (State University), Moscow.
e-mail: verkhlutov@mail.ru

In 12 healthy subjects and 9 schizophrenic patients in the background conditions (with eyes closed) EEG was recorded from 16 standard derivations (10-20 system) during three minutes. The record underwent the spectral analysis detecting alpha- and theta- frequency bands. After the preliminary narrow band filtration for the main frequencies the sources of the spontaneous rhythms were localized. The data on localization for all healthy subjects and patients were summarized. The K-means clustering was used for identification of the sources clusters which were revealed in occipital and parietal lobes and limbic cortex for alpha-rhythm and also in frontal, temporal and parietal regions, limbic cortex and hippocampus for theta-rhythm.

In schizophrenic patients in comparison with healthy subjects there was revealed significant increase of the numbers of dipole sources of alpha - rhythm in the clusters localized in limbic cortex and hippocampus. For theta-rhythm there was significant increase of the dipole moment of the sources in the clusters localized in the temporal and frontal cortices and hippocampus in patients in comparison with the norm.

Key words: EEG, alpha - rhythm, theta - rhythm, cortical localization, visual cortex, limbic cortex, hippocampus, schizophrenia, cluster analysis.

Наиболее перспективным считалось использование метода локализации источников ЭЭГ для исследования вызванных потенциалов (ВП) [18] и эпилептической активности [25]. Но наши предыдущие исследования спонтанной МЭГ [10] и более поздние результаты исследований ЭЭГ других авторов по локализации дипольных источников медленноволновой альфа- тета- и дельта-активности в различных корковых областях показывают возможность использования этого метода для выяснения более тонких механизмов нарушений в деятельности мозга, в том числе и при психических заболеваниях [26].

О вероятных источниках спонтанных ритмов ЭЭГ косвенно можно судить по данным картирования спектральной мощности ЭЭГ [6,11], однако этот метод не позволит сделать однозначные выводы о структурах, продуцирующих эту активность. При интерпретации таких данных ориентируются на фокусы максимальных значений спектров мощности, которые отражают распределение электрического поля на поверхности головы [14,16]. При этом не учитывается ориентация возможных источников и их число. При радиальной ориентации источника максимум распределения поля будет совпадать с его проекцией на нижележащую конвекситальную поверхность коры мозга. Напротив, при тангенциальной ориентации источника, когда он находится в борозде больших полушарий, отрицательный и положительный экстремумы, в зависимости от глубины залегания источника, могут далеко отстоять от его проекции на поверхность скальпа.

Корректно определить положение структур, создающих электрическое поле на поверхности головы, можно только при решении обратной задачи ЭЭГ. Но и в этом случае локализация источников спонтанных ритмов обусловлена рядом трудностей. Во первых, физические источники поля в коре головного мозга, создающего потенциалы на поверхности головы, могут иметь различную локализацию,

площадь, конфигурацию [2]; во вторых, эти локализации сами по себе нестабильны [1,17,28]. Основные проблемы связаны с различными шумами, которые возникают как на этапе регистрации и преобразования сигнала ЭЭГ, так и при решении обратной задачи. На практике все это приводит к скачкам источника в окрестностях некоторой области с определенным рассеиванием в более обширном пространстве и редкими непредсказуемыми скачками в отдаленные области [5]. Таким образом, ответить на вопрос о локализации источников ЭЭГ достаточно сложно.

В связи с этим, для анализа локализаций была предложена и с успехом применена методика пространственно - временной кластеризации дипольных источников МЭГ [24,25]. В свою очередь мы опробовали эту методику для оценки пространственной локализации спонтанных ритмов ЭЭГ [5], и в настоящей работе расширили анализ, дополнив его сопоставлением локализации источников с анатомическими координатами.

МЕТОДИКА

У 12 здоровых испытуемых от 17 до 25 лет (добровольцы) и у 9 больных (с диагностированным заболеванием, относящимся к F2 по МКБ-10) в возрасте от 17 до 43 лет регистрировали ЭЭГ в состоянии покоя с закрытыми глазами в звукоизолированной затемненной камере.

ЭЭГ регистрировали с помощью электроэнцефалографа фирмы МБН (Россия) от 16 хлорсеребряных электродов, размещенных на скальпе испытуемого по стандартной системе 10-20. В качестве референта использовали мочку правого уха. Заземление пациента производилось через электрод-клипсу левого уха. Запись проводили в течение 3-6 мин. При записи данных на персональный компьютер сигнал ЭЭГ после усиления оцифровывали с частотой опроса 200 Гц на канал и фильтровали цифровым фильтром в диапазоне от 1 до 40 Гц. Для анализа выбирали

одинаковые для больных и здоровых безартефактные отрезки записи по 120 с.

Обработку данных начинали со спектрального анализа для выяснения доминирующих частот для альфа- и тета- диапазонов (т.е. определяли частоту с максимальным значением мощности для каждого поддиапазона), которые имели индивидуальные особенности для каждого испытуемого.

Эти данные использовали для узкополосной фильтрации в указанных диапазонах с целью минимизации шумов и выделения источников в разных частотных диапазонах. Ширина полосы фильтрации составляла 5 Гц. После фильтрации решали обратную задачу ЭЭГ по локализации однодипольного источника с помощью программы Brainloc 6.0 (Россия), использующей многослойную сферическую модель.

Сопоставление локализованных диполей со структурами мозга производили программой Brainmtic. Это программное обеспечение для трехмерной визуализации головы и мозга на первом этапе исследований позволило выявить скопления диполей в компактных областях внутри мозга (рис 1), что послужило предпосылкой к применению кластерного анализа для статистической обработки данных локализации источников спонтанной ЭЭГ.

Для кластерного анализа отбирали диполи с коэффициентами дипольности 0.97 для нормы и 0.96 для патологии, что было связано с резким различием их числа для нормы и патологии при применении единого коэффициента 0.95, которых в этом случае было на 40% больше для группы нормы. После коррекции коэффициентов дипольности соотношение общего числа отобранных диполей для нормы и патологии было примерно одинаковым.

Отобранные источники по сводной группе для нормы и больных шизофренией суммировали и подвергали дальнейшему анализу для

выявления наиболее устойчивых локализаций с помощью кластерного анализа, используя в качестве параметров трехмерные координаты и дипольный момент.

Статистическую обработку данных осуществляли с применением статистического пакета STATISTICA 6.0. Достоверность различий средних значений вычисляли с помощью К - критерия (K - means clustering) для многомерной кластеризации. Число кластеров и их размер оптимизировали для получения репрезентативных выборок путем построения гистограмм зависимостей среднего числа событий в кластере от их количества.

С помощью критерия Стьюдента определяли «значимые» кластеры с достоверным преобладанием ($p < 0.05$) нормы или патологии. Для разного числа кластеров были определены линейные размеры «значимых» кластеров в каждом разбиении. В качестве линейного размера выступало стандартное отклонение среднего. На основании полученных данных строили график зависимости среднего линейного размера кластера от числа кластеров. Увеличение числа кластеров приводило к уменьшению стандартного отклонения, но до определенного момента выхода на плато, что считали критерием оптимизации.

Для кластеров источников альфа - ритма выход на плато начинался с числа кластеров равного 8 (рис.2А) с линейными размерами кластера порядка 1.5 см, для тета – ритма с 9 кластеров (рис.2Б) при линейном размере порядка 2 см.

На конечном этапе анализа локализацию кластеров сопоставляли с анатомическими структурами мозга с использованием атласа Тайлераха [30] с учетом того факта, что возможные источники спонтанного ритма могут быть локализованы только в коре головного мозга [27].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предварительный качественный анализ источников альфа – ритма в контрольной группе показал наиболее частую их локализацию в затылочной области с четкой тенденцией к образованию кластеров (рис. 1). Источники альфа – ритма у больных были смещены в передние отделы, и тенденция к образованию кластеров была не столь очевидной. В обоих случаях локализации тяготели к средней линии. Отмечалась тенденция к преобладанию источников в левом полушарии для латеральных локализаций.

Источники тета – ритма, как в норме так и при патологии, более часто локализовались в теменных, височных и лобных отделах мозга и по локализации контрольная группа не отличалась от группы больных шизофренией.

Количественный кластерный анализ для смешанной группы здоровых и больных испытуемых позволил объективно оценить наиболее частые локализации источников альфа- и тета - ритмов. С учетом данных оптимизации метода для альфа - ритма было идентифицировано 9 кластеров (рис.2,А), для тета - ритма 10 кластеров (рис.2,Б).

Использование копланарного стереотаксического атласа (атлас Тайлераха) позволило сопоставить локализации источников спонтанных ритмов с конкретными анатомическими структурами [30].

Кластеры альфа - ритма в порядке их нумерации имели следующую локализацию : 1) задняя часть извилины пояса; 2) теменная доля (*precuneus*); 3) задняя часть шпорной борозды (зрительная кора); 4) затылочно-височная извилина; 5) правая шпорная борозда (зрительная кора); 6) левая шпорная борозда (зрительная кора); 7) теменно-затылочная борозда; 8) левый гиппокамп; 9) нижняя часть извилины пояса (Рис 3).

Для кластеров тета - ритма выявлены следующие типичные локализации : 1) нижняя часть извилины пояса; 2) задняя часть извилины пояса; 3) теменная доля (*precuneus*); 4) правый гиппокамп; 5) затылочно-височная извилина; 6) гиппокамп; 7) верхняя лобная извилина; 8) передние отделы левой Сильвиевой борозды; 9) левая височная доля; 10) верхняя лобная извилина (рис.3).

На следующем этапе анализа исследовали состав идентифицированных кластеров для оценки статистически достоверного преобладания числа источников, связанных с нормой или патологией. Отмечалось статистически достоверное преобладание источников альфа - ритма в кластерах 3, 6, 7 (рис. 4,А), связанных со зрительной (сенсорной) корой в норме в сравнении с патологией (рис.3). При шизофрении обнаружено преобладание числа источников альфа - ритма в кластерах 1, 2, 8, 9 (рис.4,А), локализованных в лимбической коре и в левом гиппокампе (рис. 3).

Сравнение локализаций в кластерах источников тета - ритма не позволило выявить статистически достоверную разницу в частоте локализаций в норме и при шизофрении (рис. 4,Б).

В то же время статистический анализ дипольных моментов источников в кластерах 5, 6, 7, 8, 10 (рис 4,Г) показывает увеличение модулей дипольных моментов при шизофрении по сравнению с нормой в височной, лобной коре и гиппокампе (рис. 3). Только в теменной коре средняя величина дипольных моментов источников тета - ритма преобладает ($p < 0.05$) в норме по сравнению с патологией (рис. 3).

Для шизофрении также характерно увеличение по сравнению с нормой дипольного момента источников альфа - ритма в кластерах 1, 2, 8, 9 (рис 4,В), локализованных в лимбической коре и левом гиппокампе, и снижение величины дипольного момента источников в зрительной (сенсорной) коре (рис. 3).

Латеральные кластеры (кластеры 8 на рис.3) с преобладанием «патологических» источников были идентифицированы в левом полушарии – в височной доле для альфа – ритма, и в лобной доле для тета - ритма.

Для более точной характеристики анатомических структур, участвующих в возникновении токовых диполей, связанных с альфа- и тета – ритмом, был проведен анализ направлений дипольных моментов, который показал преобладание передне – задних направлений дипольных моментов источников (рис.5). Для альфа – ритма преобладали дипольные моменты с углом φ , близким к 0 и -180 град. и углом Θ около 0 град., что совпадает с направлениями горизонтальной оси nasion-inion. Для тета - ритма преобладали направления дипольных моментов, параллельные той же оси, только ориентированные к затылку ($\varphi = -180$ град., $\Theta = 0$ град.).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Локализация источников спонтанных ритмов ЭЭГ связана с рядом трудностей как методического, так и теоретического характера. Обратная задача ЭЭГ и МЭГ относится к разряду некорректных и предполагает множество решений в случае отсутствия ограничивающих предположений о возможных свойствах источника, который необходимо локализовать.

Самым очевидным в этом случае является использование одного модельного источника. Такая модель хорошо работает в случае, если путем пространственной и временной фильтрации можно выделить сигнал от одиночного источника, что наиболее справедливо для магнитоэнцефалограммы (МЭГ), ВП и вызванных магнитных ответов (ВМО).

В спонтанной ЭЭГ чаще всего поле создается протяженным источником [2,3] и искажается соседними, одновременно работающими

источниками [4]. До сих пор в качестве оценки достоверности дипольной локализации использовался коэффициент дипольности, который отражает различие между реальным полем и модельным полем [7]. Недостаток такой оценки связан с необходимостью подавления шумов с помощью цифровых фильтров, подавляющих ту часть информации, которая позволяет судить о динамике диполей, характерной для реальной ЭЭГ [3,4,17,28]. Таким образом, весьма вероятно появление ложных локализаций, которые можно исключить только при статистическом анализе.

Идея использовать пространственный, кластерный анализ основана на практике локализации источников спонтанного ритма, динамика которых явно напоминала случайные отклонения локализованных источников от их истинной позиции. Хотя такой анализ не выявляет точных локализаций, он позволяет объективно сравнивать сдвиги в локализации источников ЭЭГ для разных групп испытуемых, что показано в настоящей работе.

В многочисленных работах с регистрацией ЭЭГ показано пространственное перераспределение альфа – ритма в передние отделы при разных видах патологии [6,11,14,16,19]. На основании нашего исследования можно заключить, что такой эффект связан с появлением источников альфа – ритма в лимбической коре и гиппокампе, что в свою очередь является еще одним показателем дисфункции этих структур наряду с выявленными ранее [13].

В то же время нельзя отрицать присутствие источников альфа – ритма в этих структурах в норме. «Появление» источников связано лишь с резким возрастанием амплитуды потенциалов для соответствующего ритма, что косвенно подтверждается результатами по сравнительному анализу кластерных локализаций для тета – ритма, для которых не удалось выявить статистически достоверных различий по числу локализаций, но

показаны четкие различия по величине дипольного момента для нормы и при шизофрении.

Для тета – ритма не было показано различий в локализациях для больных шизофренией и контрольной группы, но имелась четкая тенденция к возрастанию амплитуды корковых потенциалов. Очевидно, что как альфа - , так и тета - ритмы можно рассматривать как близкие по своей природе ритмы, усиление которых показывает снижение функциональных возможностей корковых структур при патологии. Шизофрения при этом оказывается адекватной моделью, так как многочисленные исследования указывают на дисфункцию лимбической системы [9,28,29] и изменения в височной и лобной коре при этом заболевании [12,13,14,15,16].

Локализацию источников вблизи средней линии можно объяснить рядом факторов. Главное - это особенности метода однодипольной локализации, при котором симметричные источники в обоих полушариях локализуются как единый эквивалентный диполь. При этом они должны находиться на минимальном расстоянии. При их латеральном расположении локализация может быть успешной только в случае их явной асимметрии, при которой поле от второго источника не превышает уровня шума. В большинстве случаев источники в обоих полушариях работают синхронно.

Тем не менее в нашем исследовании обнаружены левосторонние асимметричные кластеры источников, что может свидетельствовать об асинхронности в работе полушарий и о более выраженной дисфункции левого «ведущего» полушария у больных шизофренией, что подтверждается клиническими исследованиями [14,15,16,20,21,23].

Анализ ориентаций дипольных моментов показывает преобладание направлений вдоль продольной оси, что вполне объяснимо с позиций дипольной теории при симметричной работе источников. Поперечно

ориентированные диполи компенсируют друг друга, так как они противоположно направлены, а при продольной их ориентации, наоборот, складываются, усиливая дипольный момент. Особенно это характерно для источников в затылочной коре, которые вносят основной вклад в число диполей, ориентированных параллельно передне – задней оси, и локализуются в окрестностях шпорной борозды, что соответствует локализации первичных компонентов зрительных ВП [18] в корковом поле 17 по Бродману [22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая полученные результаты наряду с уже известными данными о локализации основных источников альфа – ритма в зрительной коре [1-3,7,8,17,27,28], можно сделать новые выводы о тенденциях в изменении ЭЭГ у больных шизофренией по сравнению с нормой, выявленных методом локализации с применением кластерного анализа.

Пространственное перераспределение альфа-ритма в электроэнцефалограмме связано с усилением его источников в лимбической коре и гиппокампе. Этот вывод может быть экстраполирован на другие виды патологии мозга, что, конечно требует дополнительных экспериментальных и клинических исследований ЭЭГ с применением метода локализации.

У больных по сравнению с нормой отмечается появление новых источников альфа – ритма в лимбической коре, гиппокампе, височной коре и лобной коре, т.е. в структурах, которые действительно страдают при этой патологии, что позволяет предположить возможное диагностическое значение выявления источников альфа – ритма в этих структурах.

При шизофрении происходит усиление дипольных моментов источников тета – ритма, что может быть связано с нарастанием локальной

тета - синхронизации корковых сетей при этом виде патологии, но не появляется новых корковых структур, продуцирующих этот ритм в отличие от альфа-источников, число которых возрастает при шизофрении.

Метод кластерного анализа является адекватным для статистической оценки локализаций источников спонтанных ритмов ЭЭГ, что подтверждается сопоставимостью полученных данных с предыдущими исследованиями как по картированию ЭЭГ [6,11,14,16,29], так и по локализации источников ЭЭГ и МЭГ [1,18,22,27]. Кроме того, полученные данные не противоречат наблюдениям о структурных и функциональных нарушениях при шизофрении [12-13,15,23].

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 04-06-80231а, 03-04-48185а).

СПИСОК ЛИТИРАТУРЫ

1. *Верхлютов В.М.* Пространственная и временная вариабельность альфа - ритма магнитоэнцефалограммы у человека в норме //Журн.высш.нерв.деят., 1990.Т.40. № 5. С. 944-949.
2. *Верхлютов В.М.* Модель структуры дипольного источника альфа-ритма зрительной коры человека //Журн.высш.нервн.деят.,1996. Т.46. № 6. С. 496-503
3. *Верхлютов В.М., Барк Е.Д., Шевелев И.А., Каменкович В.М., Коньшев В.А., Михайлова Е.С., Полянский В.Б., Ярных В.Л., Анисимов Н.В.* Динамическая локализация дипольного источника альфа-ритма в мозге человека //Журн.высш.нерв.деят.1999. Т.49. № 1. С. 3-11.
4. *Верхлютов В.М., Коньшев В.А.* Виды динамики дипольных моментов источников спонтанных ритмов ЭЭГ в зависимости от их локализации //«Дипольные источники ритмов ЭЭГ в нейрофизиологии и клинике». Рабочее совещание, 17-18 июня 2002, ИВНД и НФ РАН, М.: С.9-10.
5. *Верхлютов В.М., Стрелец В.Б., Магомедова М.В., Магомедов Р.А.* Локализация источников спонтанных ритмов ЭЭГ у больных с шизотипией и шизофренией //Там же С. 31-32.
6. *Докукина Т.В., Мисюк Н.Н.* Картирование ЭЭГ в выявлении признаков органического поражения головного мозга у больных с психическими заболеваниями // Журн. невропатологии и психиатрии. 2000. №5. С.39-44.
7. *Исайчев С.А., Осипова Д.С., Коптелов Ю.М.* Дипольные модели генераторов альфа-ритма //Журн.высш.нерв.деят. 2003. Т.53. № 5. С.577-586.

8. *Каменкович В.М., Барк Е.Д., Верхлютов В.М., Шевелев И.А., Михайлова Е.С., Шараев Г.А.* Зрительные иллюзии, вызванные ритмическими вспышками, и "движение" по коре волн альфа-активности //Журн. высш. нерв. деят. 1998. Т.48. № 3. С. 449-457.
9. *Ремимидт Х.* Детская и подростковая психиатрия. М.: ЭКСМО, 1999. 624 с.
10. *Скворцов И.А., Холодов Ю.А., Симерницкая Э.Г., Горбач А.М., Осипенко Т.Н., Верхлютов В.М., Руденская Г.Е., Коньшев В.А., Харина Г.Е., Марагей Р.А., Сагура А.Ю., Шалыпина А.И.* Неврологическая и нейропсихологическая оценка результатов магнитоэнцефалографии при эпилептическом синдроме у детей. //Проблемы невропатологии, психиатрии и наркологии. Тбилиси: 1987. С.302-304.
11. *Стаховская Л.В., Тихонова И.В., Гнездицкий В.В.* Результаты топоселективного картирования ЭЭГ у больных с транзиторной глобальной амнезией и дисциркуляторной энцефалопатией //Неврол. вестн. 1995. Т.27. № 3-4. С.5-9.
12. *Стрелец В.Б.* Нарушение физиологических механизмов восприятия, эмоций и мышления при некоторых видах психической патологии. //Физиол. человека. 1989. Т.15. №3. С. 135-139.
13. *Стрелец В.Б.* Меж- и внутриполушарные нарушения при некоторых видах психической патологии //Журн. высш. нерв. деят. 1993.Т.43. №2.С.267.
14. *Стрелец В.Б.* Картирование биопотенциалов мозга при эмоциональной и когнитивной патологии //Журн. высш. нерв. деят. 1997.Т.47. №2, С.226-241.
15. *Стрелец В.Б., Иваницкий А.М., Иваницкий Г.М., Арцеулова О.К., Новотоцкий-Власов В.Ю., Голикова Ж.В.* Нарушение организации корковых процессов при депрессии //Журн. высш. нерв. деят. 1996. Т.46. №2. С.274-280.

16. *Стрелец В.Б., Магомедов Р.А., Голикова Ж.В., Новотоцкий-Власов В.Ю.* Спектральная мощность и внутрикорковые взаимодействия по бета2-ритму в норме и при шизофрении // Журн. высш. нерв. деят. 2004.Т.54. №2.С.229-236.
17. *Шевелев И.А., Верхлютов В.М., Барк Е.Д., Полянский В.Б., Ярных В.Л., Анисимов Н.В.* Динамическая локализация вращающегося дипольного источника альфа - ритма мозга человека по данным ЭЭГ и МРТ //Мед. физика. 2001. № 11. С. 110.
18. *Di Russo F., Martinez A., Sereno M.I., Pitzalis S., Hillyard S. A.* Cortical Sources of the Early Components of the Visual Evoked Potential //Human Brain Mapping. 2001. V.15. P. 95–111.
19. *Fehr T., Wienbruch C., Kissler J., Moratti S., Watzl H., Hoecker W., Elbert T., Rockstroh B.* Interaction of delta, theta and alpha activity in schizophrenics, depressives and alcoholics //12th International Conference on Biomagnetism. Helsinki University of Technology, Espoo, Finland,2000.
20. *Gruzelier J.* Hemisphere Asymmetries of Functions in Psychopatology. Flor Henry. Amsterdam: 1979.
21. *Gur R.E.* Disturbances in the normal asymmetry of brain structure and function are a hallmark of schizophrenia and may relate to sex differences and age effects on disease course //Abstr. 4 Laterality and Psychopathology Conference “Applied and Basic Research”,June 19-21. London, 1997. P.25.
22. *Levy I., Hasson U., Avidan G., Hendler T., Malach R.* Center-periphery organization of human object areas // Nat. Neurosci. 2001, V.4. №5. P.533-539.
23. *Moll J., Oliveira-Souza R.,Eslinger P. J.* Morals and the human brain: working model. //NeuroReport. 2003.V.14. № 3. P. 299-305.

24. *Ossadtchi A., Baillet S., Mosher J.C., Thyerlei D., Sutherling W., Leahy R.M.* Automated interictal spike detection and source localization in magnetoencephalography using independent components analysis and spatio-temporal clustering //Clin. Neurophysiol. 2004.V.115. № 3. P.508-522
25. *Ossadtchi A., Mosher J.,Lopez N., Baillet S., Sutherling W., Leahy R.M.* Automated detection of dipole clusters in interictal MEG data. //13th International Conference on Biomagnetism, 2002, Jena, Germany. P.26.
26. *Rockstroh B., Wienbruch C., Moratti S., Kissler J., Fehr T., Elbert T.* Magnetic source imaging of slow wave activity in psychiatric samples. //12th International Conference on Biomagnetism. Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 2000. P. 48.
27. *Salmelin R.H.,Hamalainen M.S.A.* Dipole modelling of MEG rhythms in time and frequency domains // Brain Topogr. 1995. V.7. №3. P.251-257.
28. *Shevelev I.A., Kamenkovich V.M., Bark E.D., Sharaev G.A., Verkhliutov V.M., Mikhailova E.S.* Visual illusions and travelling alpha waves evoked by flicker with alpha frequency //Int. J. Psychophysiol. 2000. V.39. P.9-20.
29. *Strelets V.B.* EEG Mapping in Emotional and Cognitiv Pathology //Conceptual Advances in Russian Neurosciences: Complex Brain Functions. /Eds R.Miller, A.M.Ivanitsky, P.M.Balaban. Harwood Acad. Publ. Reading, UK, 1999. P. 151-167.
30. *Talairach J.,Tournoux P.* Co-planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain, Thieme Med. Publ. Inc.,N.Y.:1988.

Fig 1. The dipole cluster of alpha-rhythm - in the occipital lobe of the brain. The big black globules - the places of dipole localization, the short segments - dipole moments, the disks - the places of EEG derivations. The bright globules - coordinate labels.

Fig 2. Dependence of cluster mean size on the cluster number for alpha (A) and theta (B) rhythms. The size of cluster does not decrease if the cluster number is higher then 8 for alpha - rhythm and higher then 10 for theta - rhythm.

Fig 3. The dipole clusters are significantly distinctive by localization for alpha – rhythm (clusters 1-3,6, left heads), and by module of dipole moment for alpha – rhythm (clusters 1-3,6-9, left heads) and for theta - rhythm (clusters 2,3,5-8,10, right heads). The standard deviation from center of cluster for sources of alpha - rhythm is 1.3-1.7 cm for clusters 1-7, 2.4 cm for cluster 8, and 3 cm for cluster 9. For the clusters of theta - rhythm sources standard deviation is 1.6-2.7 cm.

Fig 4. The mean number of dipoles (A, B) and the mean module of dipole moment (B, Γ) in the alpha rhythm sources clusters (A, B) and theta – rhythm (B, Γ). Statistically significant are the differences in the clusters 1-3,6 ($p < 0.05$) for the middle number of alpha – rhythm dipoles (A). There are no statistically significant differences for the middle number of theta – rhythm dipoles. There are statistically significant differences of the dipole moment middle module in the clusters 1-3,6-9 ($p < 0.05$) for alpha – rhythm (B). There are also statistically significant differences of the dipole moment middle module the dipole moment middle module 2,3,5-8,10 ($p < 0.05$) for theta – rhythm (Γ).

Fig 5. Distribution of the dipole moments direction to the angles Θ and φ for localized alpha- and theta-rhythms in the detected clusters. Dominate the directions to the angles $\Theta = 0$ degree and $\varphi = 0$ degree, -180 degree i.e. along the anterior – posterior axis of the head.

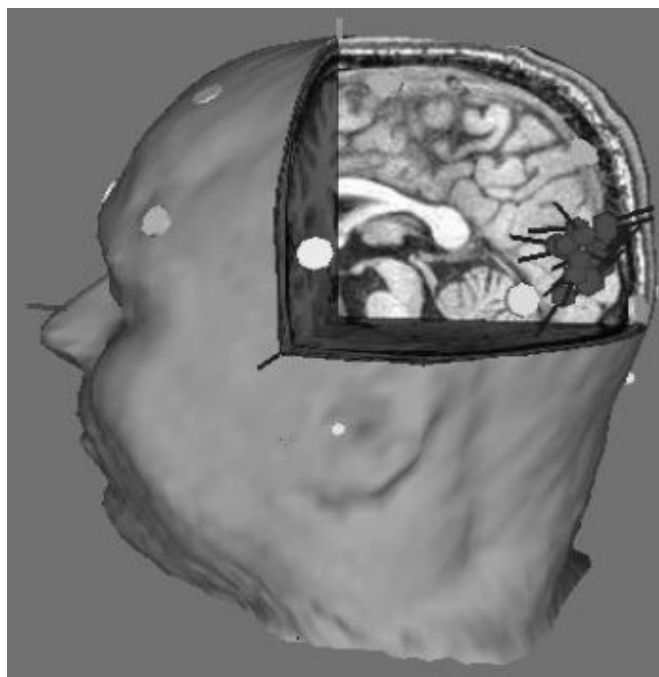


Рис. 1. Кластер диполей альфа - ритма в затылочной доле мозга. Крупные темные шарики - места локализации диполя, короткие отрезки – дипольный момент, диски –места расположения электродов ЭЭГ, светлые мелкие шарики – координатные метки.

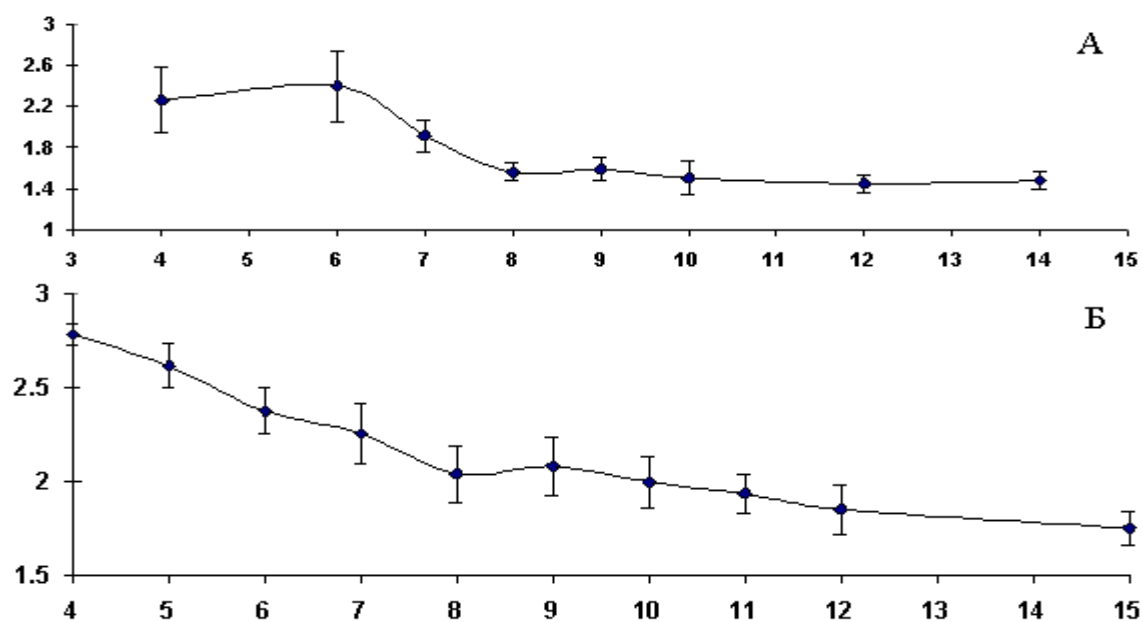


Рис. 2. Зависимость среднего размера кластера (в сантиметрах) от числа кластеров для альфа-ритма (А) и тета – ритма (Б). По оси абцисс – число кластеров, по оси ординат размер кластера. Размер кластера не уменьшается при числе кластеров больше 8 для альфа – ритма и больше 10 для тета-ритма.

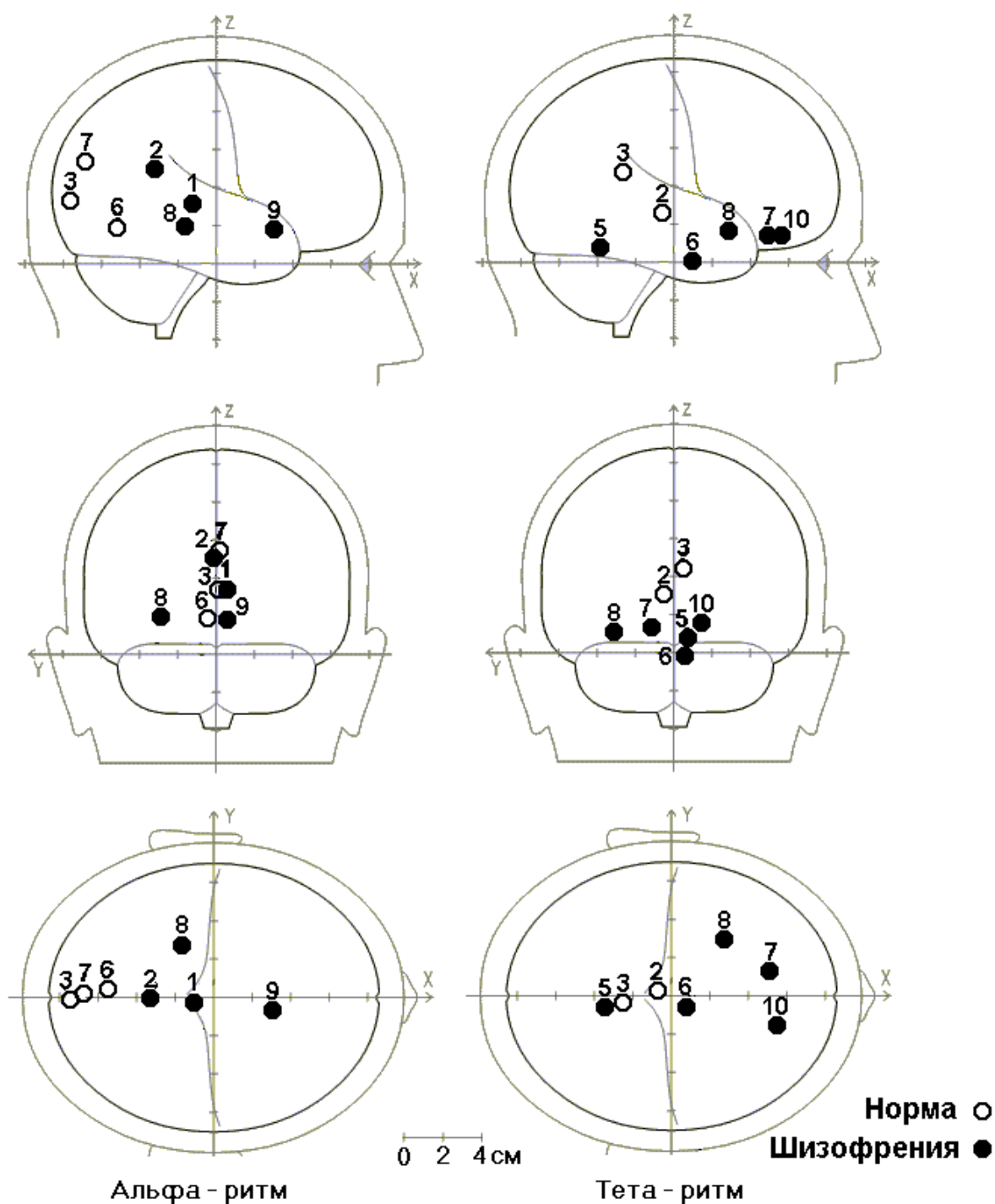


Рис. 3. Локализация дипольных кластеров для альфа- (слева) и тета-ритмов (справа) относительно контура мозга и головы. Оси X, Y, Z – пространственные координаты. Дипольные кластеры, достоверно различимые по локализации для альфа – ритма (кластеры 1-3,6; слева), а также по модулю дипольного момента для альфа-ритма (1-3,6-9; слева) и тета-ритма (кластеры 2,3,5-8,10; справа). Стандартное отклонение от центра кластера для источников альфа-ритма: 1-7-й кластеры от 1.3 до 1.7 см; 8-й кластер– 2.4 см и 9-й кластер– 3.0 см; для источников тета-ритма от 1.6 до 2.7 см.

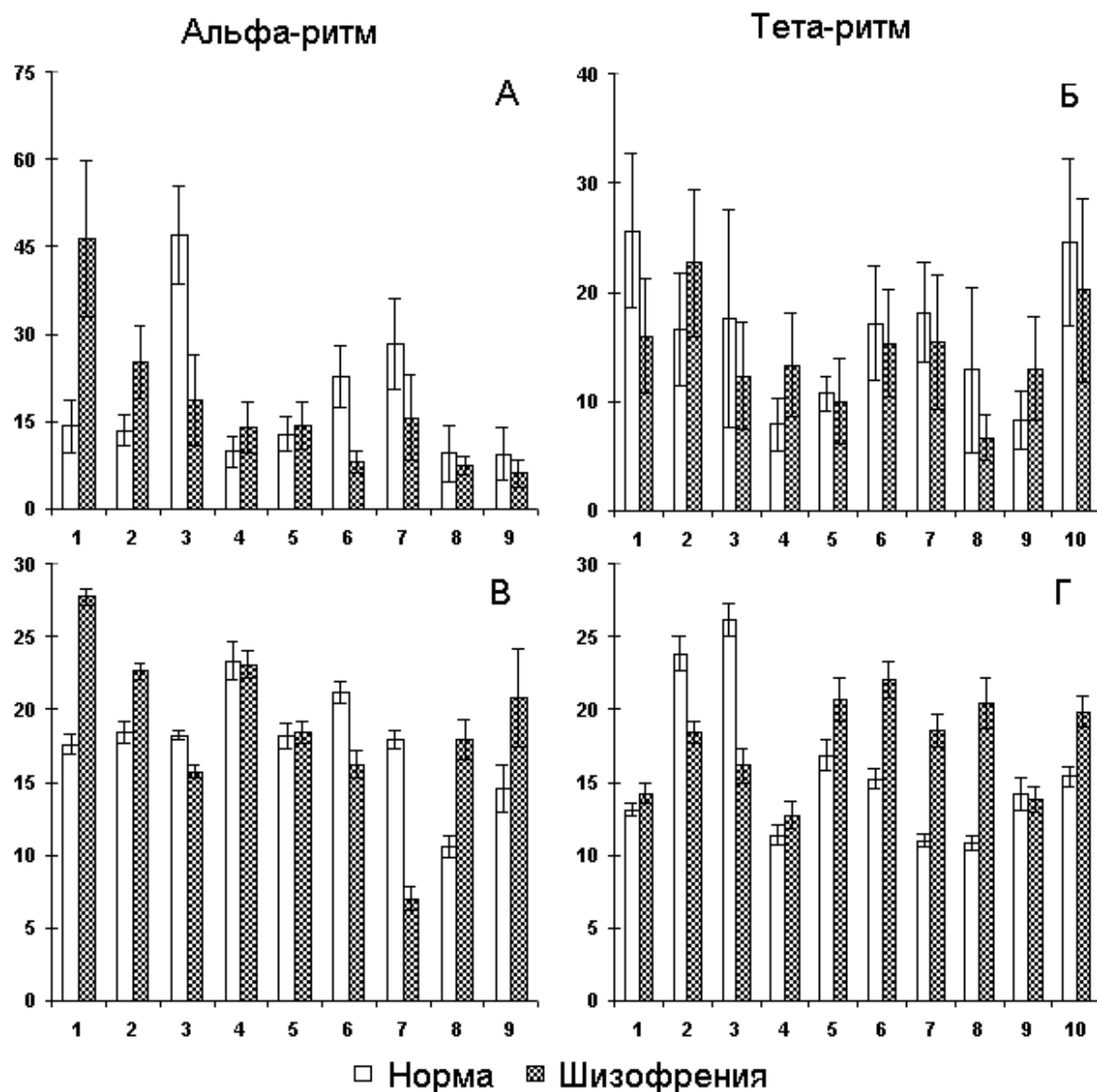


Рис. 4. Среднее число диполей (А,Б) и средний модуль дипольного момента (В,Г) в кластерах источников альфа-ритма (А,В) и тета-ритма (Б,Г). По оси абсцисс – среднее число диполей в кластере, по оси ординат номер кластера. Статистически достоверны различия в кластерах 1-3,6 ($p < 0.05$) для среднего числа диполей альфа-ритма (А). Нет статистически достоверных различий для среднего числа диполей тета-ритма (Б). Статистически достоверные различия среднего модуля дипольного момента в кластерах 1-3,6-9 ($p < 0.05$) для альфа-ритма (В). Статистически достоверные различия среднего модуля дипольного момента в кластерах 2,3,5-8,10 ($p < 0.05$) для тета-ритма (Г).

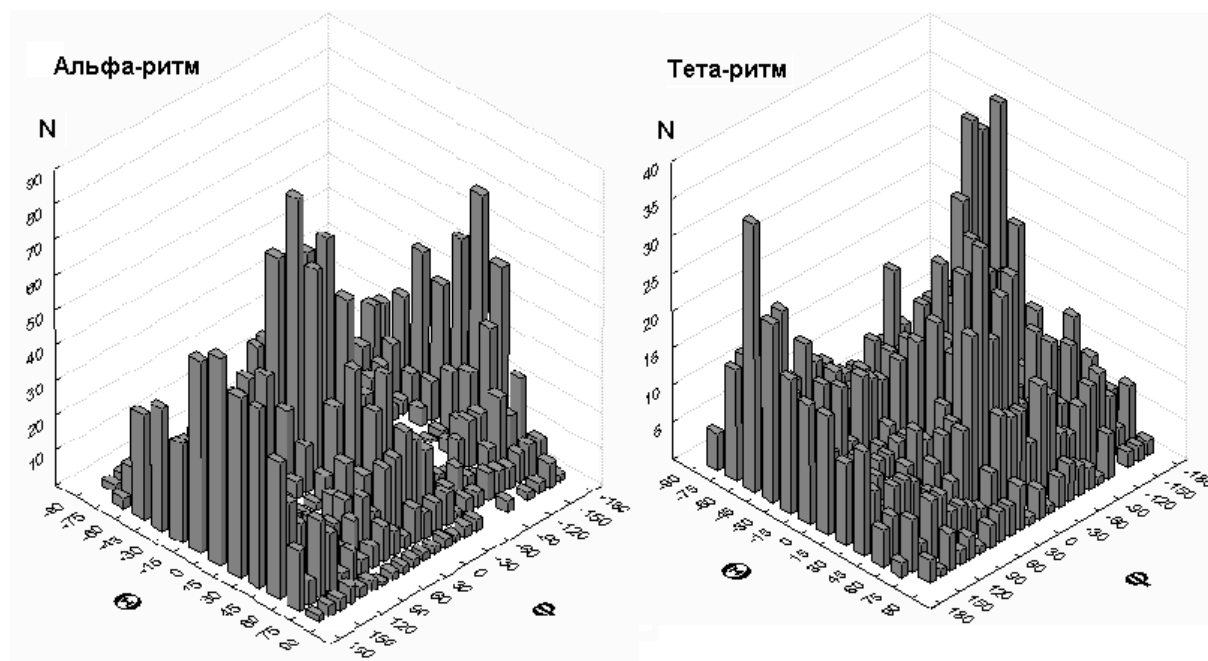


Рис.5 Распределение ориентаций дипольных моментов по углам Θ и φ для локализованных источников альфа- и тета-ритма в идентифицированных кластерах. По осям: N – число диполей в кластере, Θ и φ углы дипольных моментов. Преобладают направления с углами $\Theta = 0$ град. и $\varphi = 0$ град., 180 град., т.е. направления вдоль передне - задней оси головы.