

ВНУТРЕННИЕ БОЛЕЗНИ

УДК 612.1,8

Взаимосвязь электрических осцилляций сердца и мозга

А. С. Холманский¹, А. А. Минахин²

¹ Научный центр «Бэмком», Российская Федерация, 127340, Москва, Шенкурский проезд, 11

² Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины, Филиал № 3, Российская Федерация, 111674, Москва, ул. 2-я Вольская, 19

Для цитирования: Холманский А. С., Минахин А. А. Взаимосвязь электрических осцилляций сердца и мозга // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2018. Т. 13. Вып. 2. С. 117–135. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu11.2018.201>

Для обоснования физических моделей механизма эвристического мышления изучены зависимости частотных спектров электрической активности мозга и сердца от действия на мозг внутренних и внешних физико-химических факторов. Электрическая схема мозга представлена открытой системой химических синапсов и перехватов Ранвье. Первые смоделированы осцилляторами в виде токовых диполей, а вторые — индуктивными катушками. Выявлены латеральная асимметрия реакции частот мозга на действие света и тормозящее действие на электрическую активность всех зон мозга благоволия и акустики голоса. Установлены корреляции эффектов внешних и внутренних факторов на частотные спектры мозга и сердца. Для объяснения взаимосвязи пейсмейкерных систем мозга и сердца выдвинуто предположение, что на пульсовые колебания артериальной крови накладываются осцилляции ее электрической поляризации, вызванные вегетативной коррекцией осцилляций синусного узла сердца и вектора его диполя. Осцилляции поляризации крови через ее капиллярные системы влияют на кинетику ион-обменных процессов в пейсмейкерных системах мозга. Установлена связь известных ритмов электроэнцефалографии с характерными частотами акустических и электрофизических колебаний в тканях мозга и черепа. Метод регистрации частотных спектров электрической активности мозга позволяет дифференцировать его физиологическое состояние в зависимости от функциональной нагрузки и патологических факторов.

Ключевые слова: частоты, электроэнцефалография, электрокардиограмма, токовый диполь, синапс, корреляции.

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2018

Введение

Мозг человека является открытой термодинамической, самоорганизующейся системой, пребывающей в стационарном равновесии с внешней средой в интервале температур 36,2–37,4°C [1]. Отличительным признаком мозга *homo sapiens*, выделяющим его среди всех живых существ, является его способность эвристически мыслить и творить ценное знание в вербальной и невербальной форме. Ценность знания определяется мерой его вклада в реализацию антропного принципа. Полагают [2–4], что в основе механизма эвристического мышления лежит способность мозга реагировать и преобразовывать действие квантов электромагнитной и нейтринной природы, которые назвали энергоформами (ЭФ).

Необходимость углубления физических представлений о механизме эвристического мышления до уровня ЭФ осознают физики и нейробиологи: «Процесс структурирования: ...представляет собой спонтанную генерацию упорядоченной последовательности, иерархии динамических структур, или же “энергоформ”. Отличие их от обычных стабильных, статических структур в том, что они суть не “состояния”, а “режимы”, и потому не осуществимы в отдельности, обособленно от процесса» [5]; «принципы его [мозга] работы совершенно необычны... мерность его операций выходит за рамки наших представлений. <...> Главным в деятельности мозга является не регулирующая, а конструирующая функция. Мозг в первую очередь строит концепты и варианты внешней реальности» [6].

Адекватность концептов-мыслеформ, синтезированных из ЭФ, гарантирует механизм духовно-физического изоморфизма, в основе которого лежат фундаментальные законы физики [7] и нейрогенеза [8]. Отметим, что до сих пор нет технических способов регистрации ЭФ внутри и вне мозга. Однако к их действию можно отнести «видение» мозгом снов, фосфенов давления и магнитофосфенов [3]. Моделирование структуры, кинематики и динамики ЭФ следует законам диалектики, квантовой физики и явлению электромагнитной индукции [3]. Взаимодействия ЭФ между собой и с веществом мозга подчиняются изоэнергетическим фрактально-резонансным перестройкам структур самих ЭФ и кооперативных ансамблей из динамичных молекулярно-клеточных элементов мозга [1; 3; 4; 7]. К последним относятся жидкостные среды зрительной и слуховой систем мозга, а также его ликворная и кровеносная системы.

Когнитивные и креативные способности мозга изучают, отслеживая изменения кровоснабжения мозга и его электрической активности при решении простейших психологических или интеллектуальных задач. Для этого привлекают в основном методы электрокардиографии (ЭКГ) и электроэнцефалографии (ЭЭГ), дополняя их методами компьютерных томографий. С помощью томографии локализуют активные зоны метаболизма мозга, составляя послойные картины распределения протонов (магнитно-резонансная томография, или МРТ) или плотности поглощения веществом мозга гамма- (позитронно-эмиссионная томография, или ПЭТ) и рентгеновского излучения (компьютерная томография, или КТ). Данные исследования позволили выявить некоторые функционально специализированные зоны и структуры мозга и разработать условную схему картирования электрических потенциалов на поверхности головы.

Следует отметить, что до сих пор не установлены достоверные механизмы генерации потенциалов ЭЭГ (V) и их пространственно-временной динамики. Отсут-

ствуют также физико-химические модели реагирования функциональной электрофизиологии мозга на внешние и внутренние сигналы различной природы. Тем не менее можно предположить, что кооперативные ансамбли электрических осцилляторов сердца и мозга, отвечающих за потенциалы ЭКГ и ЭЭГ, взаимодействуют между собой и со структурами мозга посредством ЭФ и эти взаимодействия играют важную роль в механизме эвристического мышления.

В настоящей работе изучены закономерности влияния на активность электрических осцилляторов сердца и мозга физико-химических факторов известной природы и проанализированы возможные механизмы частотных корреляций между ЭКГ и ЭЭГ.

Методы, модели и материалы

Модели осцилляторов. Методом ЭЭГ регистрируют потенциалы V , генерируемые в основном в слоях коры. Этот метод в принципе можно использовать для изучения асимметрии и уровня реакции электрофизиологии мозга на внешние и внутренние факторы. В целом мозг электрически нейтрален. Локальные и короткоживущие перераспределения зарядов происходят в основном на мембранах нейронов и стенках кровеносных капилляров [9; 10]. Возникающие при этом токовые диполи излучают ЭФ и генерируют переменные электрическое и магнитное поля, которые регистрируют вне организма методами ЭКГ, ЭЭГ и магнитоэнцефалографии (МЭГ).

Полагают [9; 10], что частотный спектр ЭЭГ отображает в основном электродинамику синаптических связей в слоях коры. Электрофизиологию химического синапса можно смоделировать токовым диполем $P_j(t)$ [10] (рис. 1):

$$P_j(t) = Jd = \dot{q}(t)d.$$

Размеры площадки постсинаптической мембраны в модели будут близки к параметрам синапса (толщина $d \sim 8$ нм, диаметр ~ 1 мкм). Сила тока перезарядки $J = \dot{q}(t)$ обратимо меняется от нуля до максимума в течение полного цикла электрической активности синапса длительностью 1,5–2 мс. Напряженность поля мгновенного диполя $q(t)d$, соответствующего токовому диполю, близка к нулю в пределах мембраны и максимальна в направлении, перпендикулярном ее плоскости. В этом направлении потенциал токового диполя в точке, расположенной на расстоянии r от мембраны, равен [10]

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0\gamma} \frac{P_j}{r^2},$$

здесь ϵ и ϵ_0 — диэлектрические постоянные вещества в слоях $N+h$ (рис. 1в) и вакуума соответственно, $\gamma = 1/\rho$ — удельная электрическая проводимость мембраны.

Считая синапсы приблизительно одинаковыми, поляризационный потенциал V в точке на поверхности головы можно выразить суммой проекций потенциалов токовых диполей φ_i от всех синапсов, расположенных в объеме элемента коры объемом $\pi h R^2$ при $R \sim N$ (рис. 16):

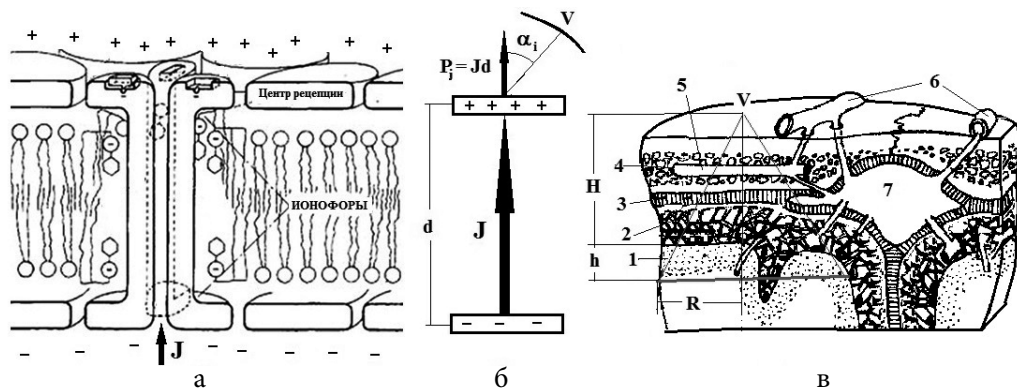


Рис. 1. Схема участка постсинаптической мембраны тормозного синапса: а) плюсы и минусы обозначают ионы K^+ , Na^+ , Cl^- (источник: <http://biofile.ru/bio/19534.html>); б) модель токового диполя (P_j) синапса (J — ионный ток, d — толщина мембраны, α_i — угол между вектором P_j и направлением к точке съема потенциала V ; в) схема приповерхностных тканей и вен головы и коническая проекция участка коры с площадью πR^2 на точку V (1 — кора; 2 — субарахноидальное пространство, заполненное спинномозговой жидкостью; 3 — твердая мозговая оболочка; 4 — кость; 5 — диплоические вены; 6 — подкожные вены головы; 7 — верхний сагиттальный синус) [9]

$$V(t) = \sum \phi_i(t) = \frac{P_j}{4\pi\epsilon_0\gamma} \sum \frac{\cos\alpha_i}{r_i^2}, \quad (1)$$

где r_i — расстояние от i -го синапса до точки V , α^i — угол между вектором P_j и направлением на точку V (рис. 1в).

Ионные токи в перехватах Ранвье, генерирующие потенциал действия (ПД), осесимметричны, и поэтому вне нейрона они практически не проявляются. Перераспределения зарядов внутри аксона генерируют квант вихревого магнитного поля в миелиновой оболочке, который запускает процесс возбуждения ПД в следующем перехвате Ранвье и обеспечивает передачу возбуждения по сальтаторному механизму [1] (рис. 2). В принципе данный квант можно считать ЭФ магнитной природы.

Таким образом, за генерацию потенциалов ЭЭГ отвечает осциллирующая макросистема, в которой примерно 10^{14} токовых диполей из равномерно распределенных в слоях неокортекса синапсов. Определенную анизотропию в равномерное распределение ориентаций P_j вносит преобладание ортогонального к поверхности коры направления осей пирамидальных нейронов и перпендикулярных им дендритов в слоях коры, ответственных за генерацию V . Для этих синапсов величина α_i близка к 0 или 180° . Маловероятно проявление электродинамики этих синапсов на ЭЭГ в тех областях коры, которые скрываются в ее складках и составляют 2/3 от ее общей поверхности [11].

Из формулы (1) следует, что амплитуда и знак V определяются главным образом уровнем синхронизации в локальном объеме коры активности возбуждающих или тормозных синапсов, токовые диполи которых коллиниарны направлению на точку V (см. рис. 1б). Высокий уровень синхронизации осцилляций синапсов будет достигаться в вертикальных колонках нейронов, состоящих в среднем из 100 ней-

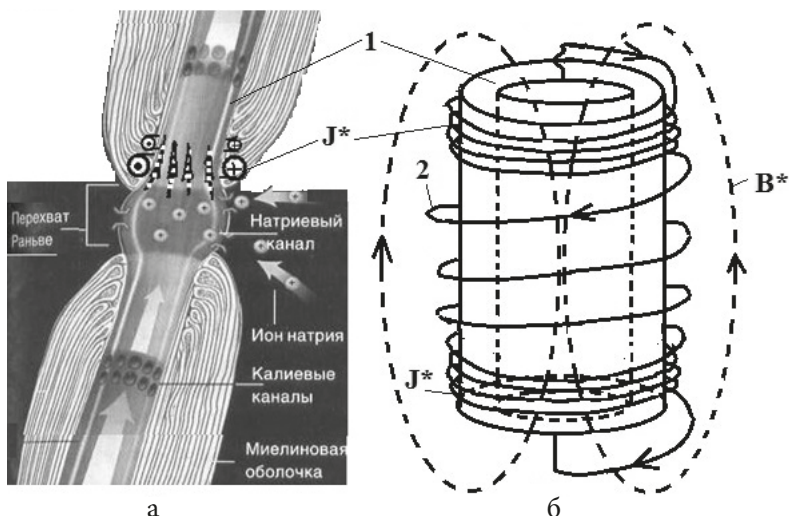


Рис. 2. Электромагнитная модель сальтаторного механизма передачи нервного импульса: а) типичная схема перехвата Ранвье [3]; б) модель миелонового сегмента: 1 — мембрана аксона, 2 — спиральные зазоры и насечки между слоями миелина; J^* — токи смещения, B^* — вихревое магнитное поле

ронов [12]. Учитывая природу и механизм генерации потенциалов ЭЭГ, можно полагать, что изменения их амплитуды будут иметь в основном случайный характер, слабо связанный с параметрами действующих на мозг внешних и внутренних факторов. С другой стороны, не исключены резонансные эффекты в синхронизации частот некоторых локальных структур мозга с доминантными частотами внешних сигналов электромагнитной и акустической природы. Отметим, что частотный спектр ЭЭГ практически непрерывно меняется в диапазоне от 0,05 до 600 Гц [13]. При этом его верхняя граница соответствует минимальной длительности цикла активности синапса.

Методы возбуждения и регистрации осцилляций. Электрическую схему организма можно представить в виде двух подсистем электрических осцилляторов — кровяной (BS) и нервной (NS). Первичными токовыми диполями в BS являются проводящие кардиомиоциты сердца, а в NS — синапсы мозга. Кинетика генерации токовых диполей в обеих подсистемах лимитируется электрофизикой соответствующих клеточных мембран. Распространение токов смещения (поляризации) по физиологическим жидкостям лимитируется временем диэлектрической (вращательной) релаксации воды ($\sim 10^{-11}$ с [10]) и происходит со скоростью света, деленной на показатель преломления среды. Симбиоз двух подсистем заключается в том, что BS обеспечивает трофику самой себя и NS, а NS подчиняет динамику BS программе гомеостаза, приоритетом которой для человека является мыслительная функция мозга.

Учитывая эти соображения, в работе для изучения механизма воздействия на мозг внешних и внутренних факторов применили анализ частотных спектров электрической активности мозга (ЧСМ) и сердца (ЧСС). Использовали электроэнцефалограф-регистратор «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» с частотой дискретизации

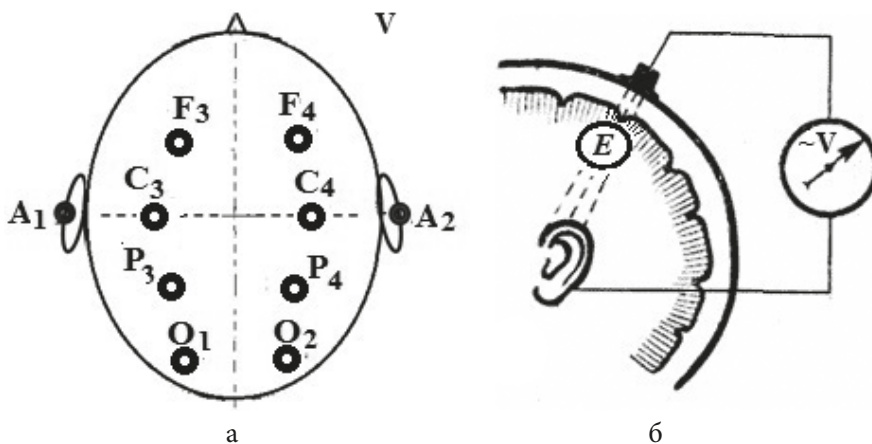


Рис. 3. Схема расположения электродов на проекции мозга и в электрической цепи ЭЭГ: а) стандартная схема отведения электродов [9]: F₃, F₄ — лобные (фронтальные), C₃, C₄ — лобно-теменные; P₃, P₄ — теменные, O₁, O₂ — затылочные; A₁, A₂ — референтные; нечетные отведения — левое полушарие, четные — правое; б) схема электрической цепи: E — генераторы потенциалов в коре мозга, V — переменный потенциал, регистрируемый энцефалографом (пунктиром обозначены радиальные токи смещения в тканях мозга)

250 Гц, что позволяло фиксировать колебания с максимальной частотой в ~ 100 Гц. Диапазон изменения V составлял от 0 до ± 500 мкВ. Из стандартной схемы отведения V 10–20 выбрали информационно оптимальные четыре точки справа и слева, референтные электроды прикрепляли к мочкам уха, электрод заземления — ко лбу (рис. 3). Для мониторинга ЧСС электроды размещали на запястьях в точке отчетливого пульса. При этом прибор отфильтровывал от низкочастотных гемодинамических сигналов (≤ 2 Гц) [14] высокочастотные (≥ 2 Гц) низкоамплитудные колебания электрической поляризации самой крови. Контактная площадь всех электродов составляла $\sim 0,7$ см².

В качестве внешних факторов применяли действие:

- на зрительную систему мозга света восковой свечи, расфокусированного стеклянной линзой диаметром 7,5 см;
- звуковых колебаний, генерируемые собственным голосом при закрытых большими пальцами рук ушах в двух регистрах — высоком (носовой тон) и низком (грудной тон);
- благовоний (ладан, миро, смола ливанского кедра).

Роль внутренних физико-химических факторов выполняли алкоголь (100 мл виски 15-летней выдержки), мануальный массаж коленных суставов и доброкачественная опухоль в мозге. Регистрировали также изменения ЭЭГ в процессе дневного сна-дремы (15 мин). В опытах участвовали трое праворуких мужчин разных профессий. Первый пациент (57 лет) работал мануальным терапевтом (МТ), второй (65 лет) и третий (67 лет) были учеными, имели степени кандидата физико-математических наук (КФМ) и доктора химических наук (ДХ) соответственно. ДХ помимо научных трудов написал около 100 живописных картин [15] и около

100 лирических стихотворений [16]. У КФМ была диагностирована ранняя стадия невриномы правого слухового нерва.

Результаты и обсуждение

Асимметрия частотных спектров мозга. На рис. 4 приведены ЧСМ и ЧСС пациента МТ, из которых однозначно следует, что при освещении правого или левого глаза доминирует активация контралатеральных областей мозга во всех точках съема V. Низкий голос в большей степени активировал теменную и лобно-теменную зоны левого полушария. Это указывает на повышенную активность у МТ левой слуховой системы мозга и тормозящее действие голоса в затылочной и лобной зоне мозга. Благовоние (ладан) незначительно повышает уровень ЧСМ относительно фона в теменной и лобно-теменной зонах обоих полушарий.

Следует отметить, что ЧСС пациента МТ, в отличие от его ЧСМ, практически не реагировала на действия внешних факторов и его доминирующая частота (~3 Гц) близка к частотам мозга в состоянии покоя-релаксации. Таким образом, ЧСС и ЧСМ пациента МТ вполне соответствуют частотным спектрам физически здорового праворукого человека, профессионально занимающегося мануальной терапией.

Контралатеральный эффект от действия света на правый глаз одинаков у МТ и ДХ для всех зон мозга (рис. 4, 5). Однако в случае левого глаза этот эффект сохраняется у МТ и едва заметен у ДХ только для лобно-теменной зоны (рис. 5). Контралатеральный эффект есть следствие несимметричности раздвоения зрительных волокон от каждого глаза в хиазме — в норме превалируют межполушарная связь между глазом и зрительной зоной коры. Нивелирование контралатерального эффекта у ДХ во всех зонах мозга при активации левого глаза согласуется с наличием у него художественных способностей и локализацией центров цветного зрения в правом полушарии [17]. С поэтическим даром можно связать одинаково повышенную реакцию на высокий и низкий голос лобно-теменных зон обоих полушарий, в которых расположены центры речи и ассоциативные области коры. Действие благовония на ДХ, в отличие от МТ, имеет выраженный тормозящий эффект для всех зон обоих полушарий мозга. Стабильность и уровень ЧСС у ДХ, так же как у МТ, свидетельствуют о физическом здоровье организма.

Частотные спектры мозга и сердца при патологиях. Действие света на оба глаза пациента КФМ привело к активации только правых зон во всех областях мозга, и особенно в лобной области (рис. 6). Эффект высокого голоса на оба полушария оказывается существенно выше, чем эффект низкого голоса во всех зонах, кроме лобных зон, в которых высокий голос активировал только правую зону. Различие эффектов грудного и носового голоса можно связать с разнонаправленностью акустических колебаний в мозге и избирательным возбуждением его структур. В первом случае акустические волны идут снизу вверх, а во втором — от воздушных пазух лицевой части черепа к затылку [18].

У КФМ эффект невриномы отчетливо проявился повышением активности правой лобной зоны при действии света на правый глаз и голоса в высоком диапазоне частот (см. рис. 4). При этом повышение уровня ЧСС наблюдалось во всех зонах мозга и не зависело от природы внешнего фактора. На ранней стадии не-

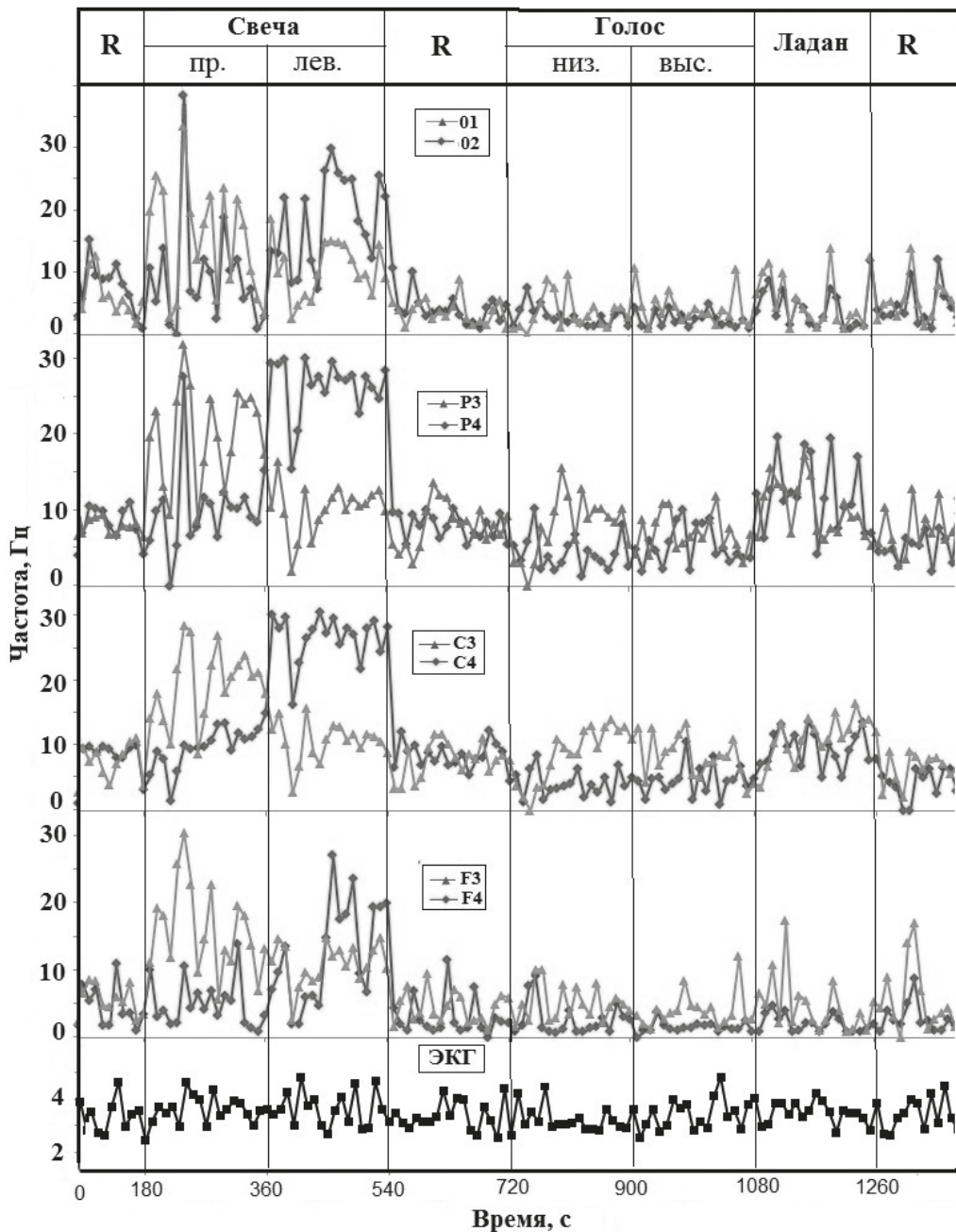


Рис. 4. Частотные спектры мозга и сердца МТ (11 часов, 22.06.16); пр., лев. — правый, левый глаз, выс., низ. — высокий и низкий регистры голоса; R — отдых, релаксация при закрытых глазах

вриномы опухоль (*шваннома*) локализуется во внутреннем ухе и ее характерным симптомом является *тиннитус* (шум в ушах с частотой 2–6 кГц) [19]. Возрастание активности правой лобной зоны под действием света на правый глаз подтверждает

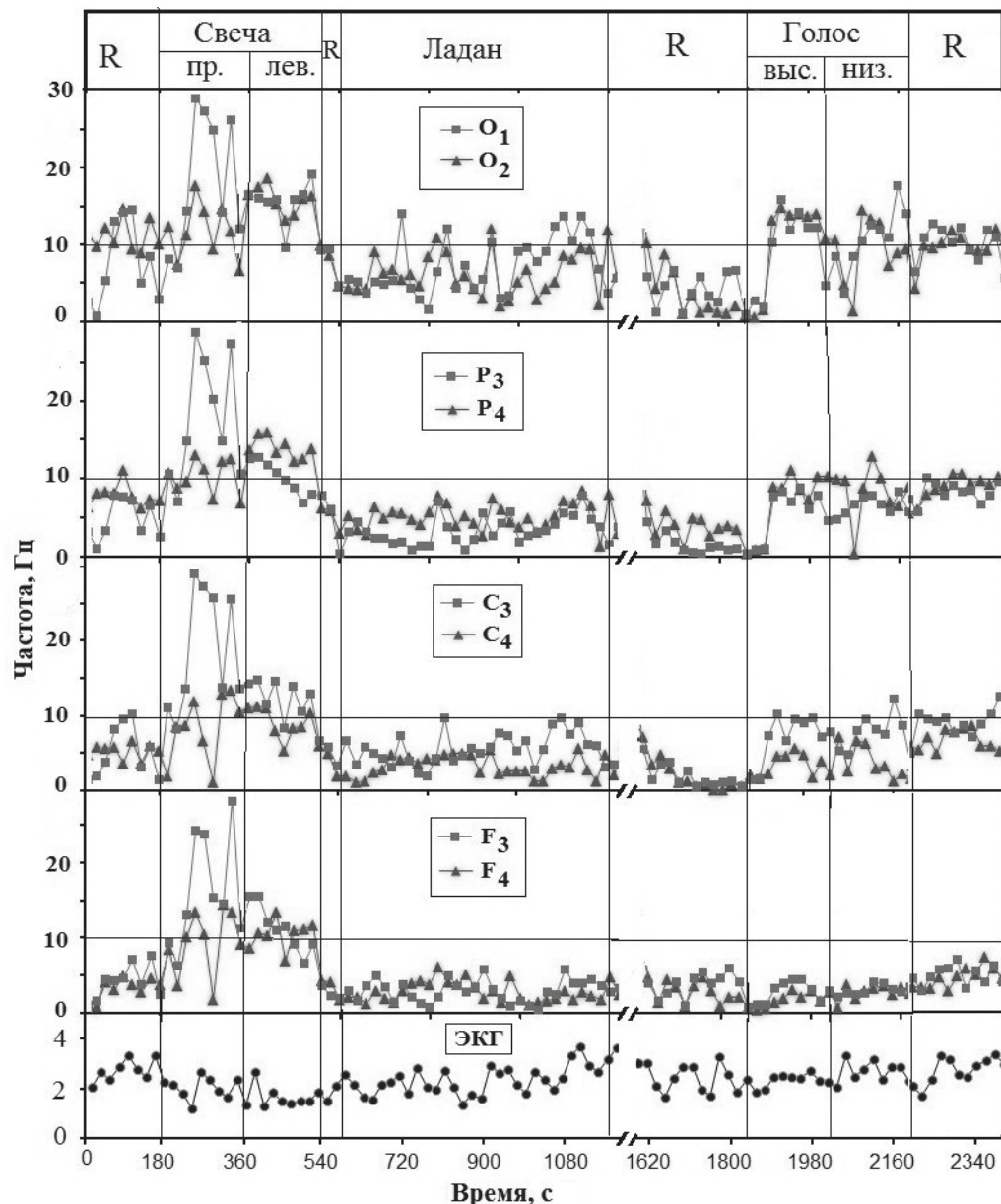


Рис. 5. Частотные спектры мозга и сердца ДХ (10 часов, 04.07.16): R — релаксация при закрытых глазах

наличие электрофизической связи между слуховой и зрительной нервными системами и влияние на нее патологий мозга [20].

Сравнение частотных спектров ДХ на рис. 5 и 7 показывает, как влияет на активность мозга умственная работа с 10 до 16 часов и алкоголь. С усталостью мозга и сердца можно связать следующее. Снижается эффект и инвертируется реакция ЧСМ правого и левого полушария на действие света. Симметрия реакций ЧСМ

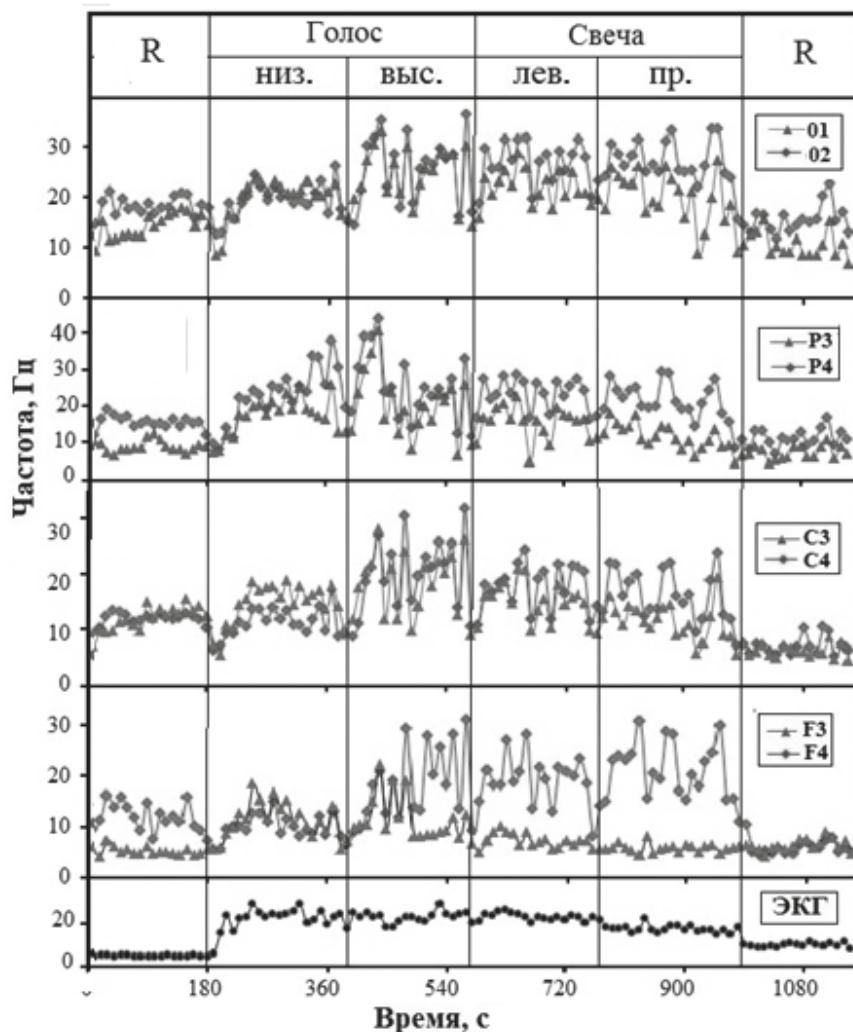


Рис. 6. Частотные спектры мозга и сердца КФМ (11 часов, 05.01.2017): R — релаксация при закрытых глазах

оказывается аналогична реакции на свет ЧСМ пациента МТ (см. рис. 4). Это, вероятно, обусловлено нивелированием дисбаланса функциональной асимметрии мозга, возникающего в процессе ночного сна [21]. Действие света и голоса на «усталый» мозг до принятия алкоголя (<660 с, см. рис. 7) сопровождается резким повышением уровня ЧСС.

Действие алкоголя в состоянии релаксации начинает проявляться уже с 4-й минуты после его принятия, что выражается в повышении активности всех зон мозга, и особенно правого полушария, а также в нормализации частоты ЭКГ. Характер реакции «опьяненного» мозга на свет сравним с его реакцией у пациента МТ (см. рис. 4) для всех зон мозга, кроме лобной и затылочной зоны левого полушария, реакция которых на свет аналогична реакции этих зон в правом полушарии.

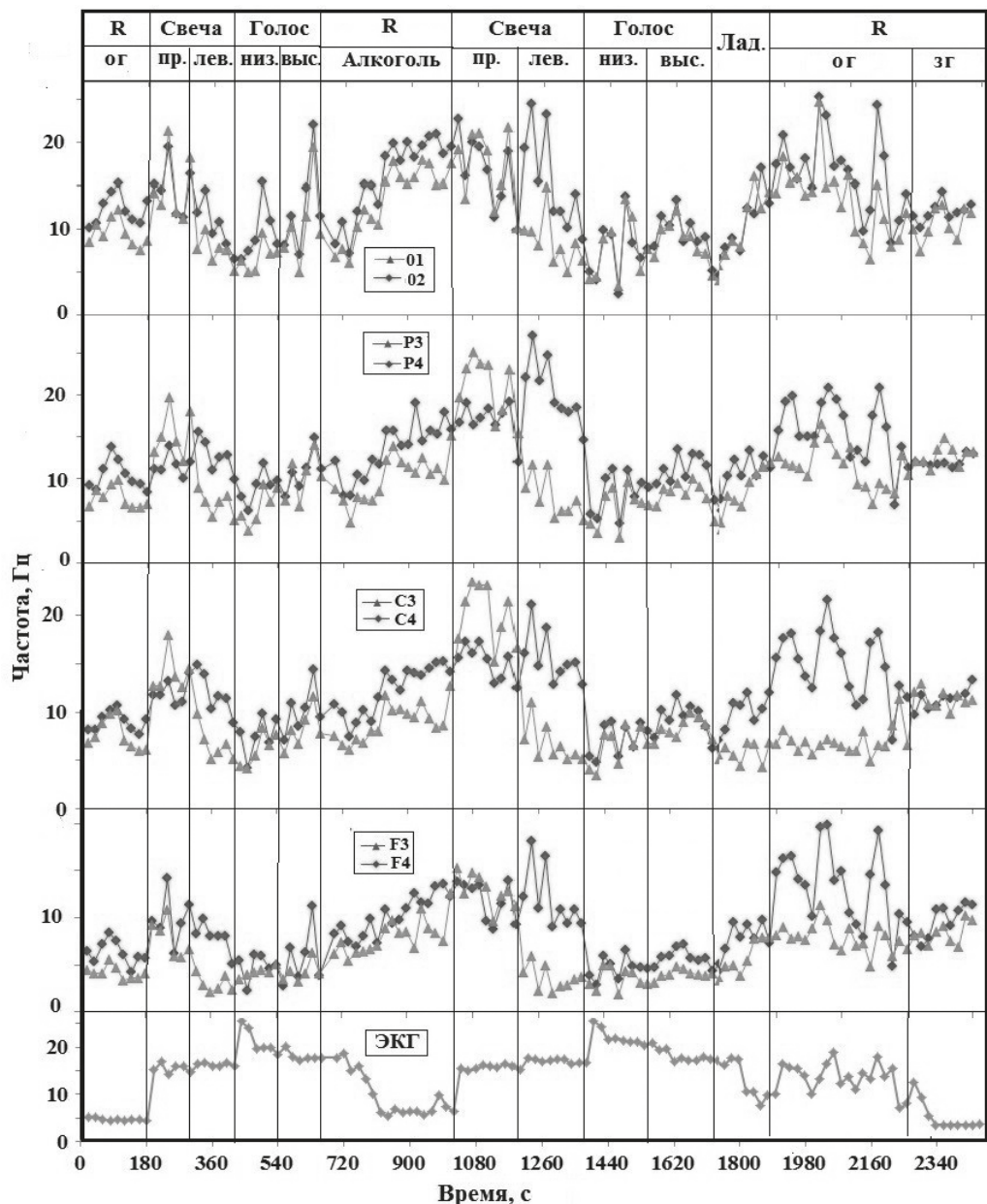


Рис. 7. Частотные спектры мозга и сердца ДХ (18 часов, 16.04.16): Алкоголь — принятие на 660-й секунде 100 мл виски); Лад., — ладан; ог, зг — открытые и закрытые глаза

рии. Эффекты голоса и благовония также преобладают в зонах правого полушария. Спустя 15 мин после принятия алкоголя во всех зонах правого полушария мозга наблюдается существенное усиление активности при открытых глазах.

Уровень ЧСС в состоянии «опьянения» возрастает при действии на мозг голоса и света, но приближается к фоновому под действием ладана и нормализуется при закрытых глазах. Эти результаты согласуются с известными данными о повы-

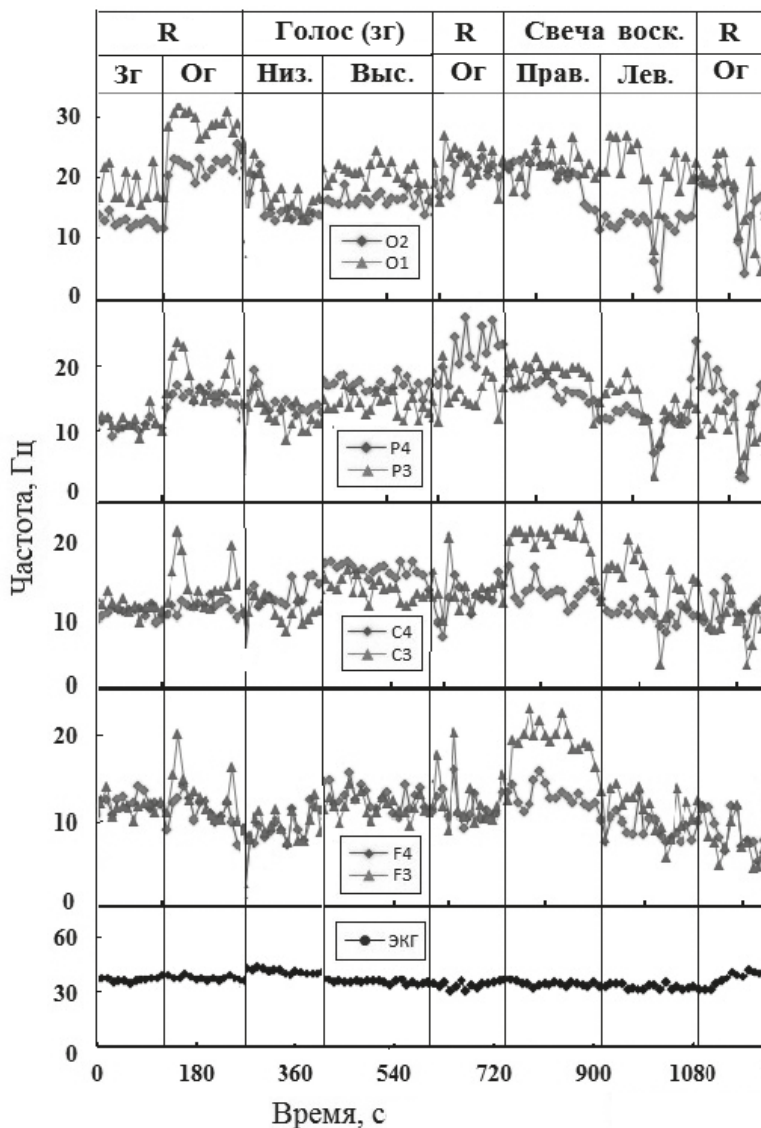


Рис. 8. Частотные спектры мозга и сердца ДХ (20 часов, 29.11.16) при артериальном давлении 160/99 мм рт. ст.

шенной чувствительности к алкоголю метаболизма правого полушария мозга по сравнению с левым [22; 23].

При повышении артериального давления до 160/99 мм рт. ст. у ДХ существенно возрастают уровни ЧСС (~30 Гц) и ЧСМ (≥ 10 Гц) в состоянии релаксации и под влиянием голоса (рис. 8). Усиливается реакция на свет зрительной системы в зонах левого полушария и искажается асимметрия реакции мозга при действии света на правый или левый глаз.

Возможные механизмы генерации и корреляции ЧСМ и ЧСС. На частотных спектрограммах пациентов, находящихся в нормальном физическом состоянии,

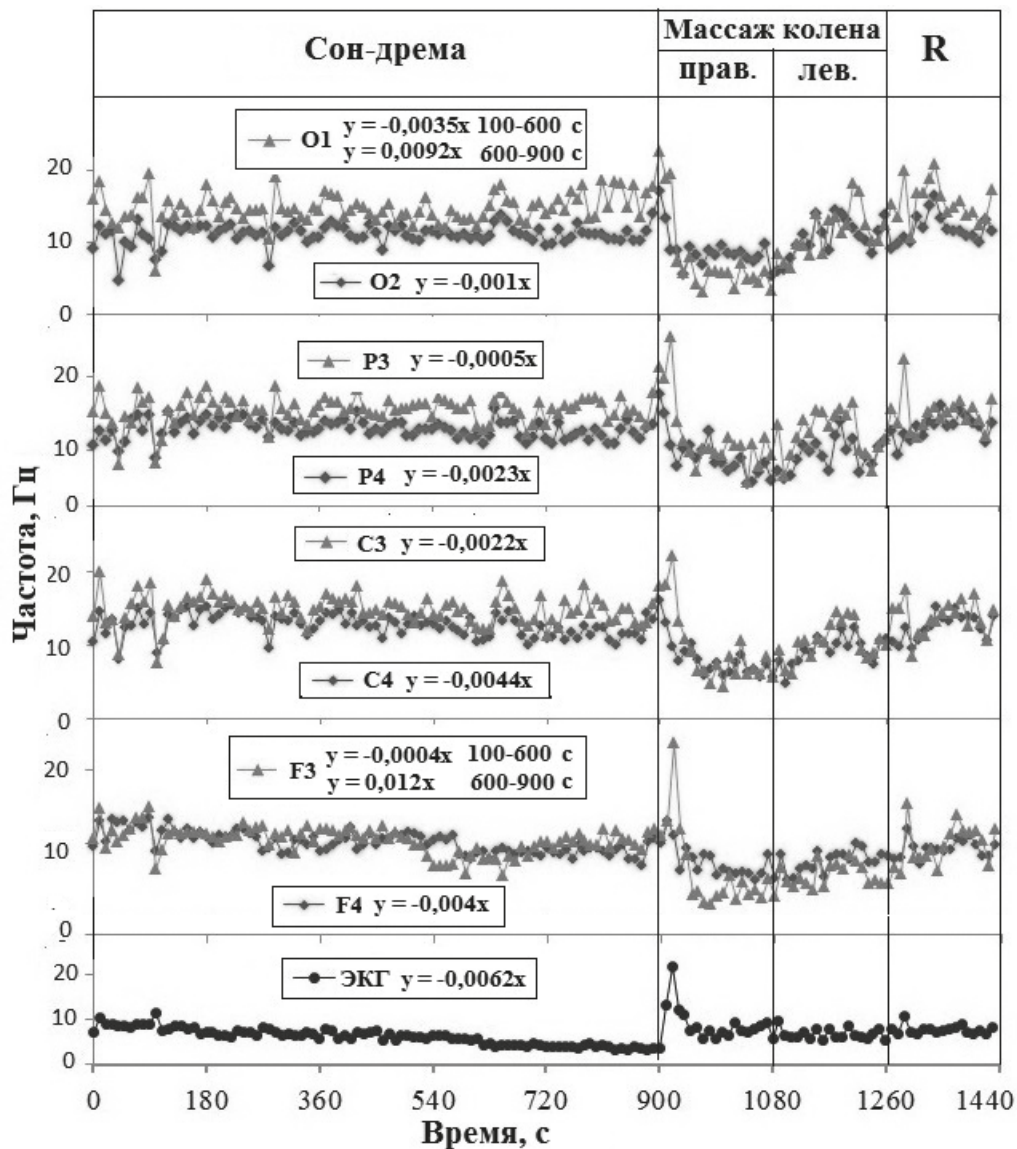


Рис. 9. Частотные спектры мозга и сердца ДХ (18 часов, 16.04.16) в состоянии сна-дремы лежа (0–900 с) и при проведении приемов мануальной терапии. В рамках — линейные тренды зависимости частот от времени ($y = kx$) в интервале 100–900 с

средний уровень ЧСС близок к 2–3 Гц и практически не зависит от действия на мозг внешних факторов. Такой же уровень ЧСМ наблюдается у них в состоянии релаксации или после воздействия благоволия и голоса (см. рис. 4, 5). При наличии какой-либо патологии (опухоль, опьянение, повышенное давление) фоновый уровень и ответные реакции ЧСМ и ЧСС на действие внешних факторов существенно возрастают и между ними прослеживаются корреляции (см. рис. 6–8). Отметим также, что с монотонным спадом частоты ЭКГ во время сна-дремы коррелируют спады уровней ЧСМ практически всех зон мозга (рис. 9). Примерно на 600-й се-

кунде действие внешнего звука прерывает процесс торможения в лобной и затылочной зонах левого полушария и активность в них начинает нарастать вплоть до пробуждения.

Константа скорости (k) линейного тренда зависимости электрической активности мозга от времени во всех зонах правого полушария мозга в 2–10 раз выше значений k для зон левого полушария и в ~1,5–3 раза меньше k для ЭКГ (рис. 9). Данная асимметрия влияния ЧСМ на ЧСС есть следствие контралатеральных связей между полушариями мозга и электрофизиологией сердца [23]. По аналогичной причине тормозящий эффект мануального массажа правого колена в большей степени проявляется на ЧСМ затылочной и лобной зонах левого полушария. По-видимому, при поверхностном сне-дреме сохраняется повышенная активность зрительной системы, главным образом в лобной и затылочной зонах коры.

Частотно-временные корреляции реакций ЧСМ и ЧСС на внешние и внутренние факторы, полученные в настоящей работе, указывают на то, что ритмика синусно-предсердного узла сердца реагирует на изменения частот ЭЭГ, особенно при патологиях организма. Этот результат подтверждают данные по корреляции уровня синхронизации ЧСМ в γ -диапазоне с гемодинамическим сигналом, зависящим от содержания кислорода в крови [24].

Автономность метаболизма сердца и механизм спонтанной деполяризации мембран кардиомиоцитов синусно-предсердного узла (*автоматия*) позволяют считать сердце открытой автоколебательной системой, спонтанная ритмика которой играет роль базового пейсмейкера в BS и NS. Базовая частота метаболизма сердца (~1 Гц) в норме обеспечивает функционирование мозга и организма на уровне животных потребностей. На базовый характер пейсмейкеров сердца указывает факт сохранения жизнедеятельности сердца при удалении его из тела человека и замене крови на физраствор.

Базовая цикличность механизма автоматии определяется преимущественно ритмикой гемодинамики и кинетикой ионообменных реакций в капиллярной системе синусно-предсердного узла. Однако уровень ЧСС может меняться в широких пределах под влиянием вегетативной составляющей NS, имеющей в области синусно-предсердного узла много своих окончаний.

Полный кардиоцикл включает участки ЭКГ длительностью от 0,01 с (Q-пик) до 0,2 с (P-пик), на которых диполь сердца и поляризация крови имеют разные направления вплоть до противоположных. Таким образом, на механические колебания BS с частотой ≤ 2 Гц накладываются колебания электрической поляризации артериальной крови, частоты которых могут достигать ~100 Гц. Корректировку ЧСС в соответствии с патологиями организма и функциональной нагрузкой мозга осуществляет вегетативная нервная система, имеющая много нервных окончаний в области синусно-предсердного узла. Эффекты поляризации в артериальной подсистеме BS, в свою очередь, могут играть роль внешних факторов, влияющих на кинетику ион-обменных процессов в мембранах синапсов, а значит, и на частоту ЭЭГ. Такая обратная связь между сердцем и мозгом вносит свой вклад в механизм регулирования электрической активности мозга в зависимости от его функциональной нагрузки.

Динамика электрических осцилляций в NS в целом определяются энергетикой и кинетикой реакции окисления глюкозы и последующими механизмами обра-

щения вращательной энергии электронов в молекуле АТФ в энергию ЭФ, благодаря которой движутся ионы и осуществляется в мозге синтез нейромедиаторов и молекул, отвечающих за долговременную память. Под влиянием внешних факторов в процессе филогенеза в мозге сформировались собственные пейсмейкеры, определяющие ритмику и условия участия нейронных подсистем в механизме эвристического мышления. Прежде всего это относится к пейсмейкерам, связанным с работой зрительной и слуховой систем мозга. Частотный диапазон первой системы определяется пейсмейкерами фоновой активности зрительной системы при закрытых глазах (α -ритм, 8–13 Гц) и пейсмейкерами β -ритма (14–30 Гц), активизирующими зрительную систему при открытых глазах. При электрической активности мышц глаз (саккады), сетчатки и стекловидного тела в указанном диапазоне частот генерируются ЭФ магнитной природы, которые стимулируют активность и интеграцию нейронных структур лобно-височных зон мозга в нейрофизиологический механизм мышления [3]. Аналогичным образом при воздействии внешнего импульсного магнитного поля на височные области мозга в зрительной нервной системе генерируются ЭФ электромагнитной природы (фосфены) [3].

Со слуховой системой мозга и акустикой голоса следует связать генезис пейсмейкеров γ -ритма (30–1000 Гц), генерируемого осцилляторами с потенциалами порядка 1 мкВ [25]. Механизм работы γ -пейсмейкеров до конца не выяснен, но установлено включение γ -осцилляций в сенсорные, когнитивные и исполнительные процессы в различных структурах мозга. На основании этих данных γ -осцилляции рассматривают в качестве универсального коммуникационного механизма мозга, который обеспечивает синхронизацию активности различных участков мозга [25–27]. Низкая энергия ЭФ, связанных с γ -осцилляторами, и присутствие γ -ритма не только в ЭЭГ, но и в частотных спектрах МЭГ [25] позволяет связать физическую природу γ -осцилляции с магнитными вихрями, генерируемыми в перехватах Ранвье (см. рис. 2).

О генетической связи γ -ритма со слуховой системой мозга и голосовой акустикой свидетельствует следующее. Полости внутреннего уха заполнены жидкостью, имеющей хороший акустический контакт с костной тканью черепа и примыкающим к ней воздушным полостям. По аналогии с фоновой активностью глаза можно полагать, что сенсорная система слуха способна аккумулировать акустические колебания, генерируемые внешними и внутренними шумами различной природы в костях и воздушных полостях черепа. Например, частоты колебаний, генерируемых голосом в лобных и лицевых пазухах, могут достигать значений 4 кГц [18].

При отсутствии внешних источников шума в костях черепа звуковые колебания могут возбуждаться шумами, производимыми гемодинамикой, а также колебаниями электрических потенциалов в активных областях мозга. В норме мощность этих колебаний, очевидно, низка и они регистрируются только приборами в виде γ -ритма. Однако их мощность может возрастать при различных патологиях мозга, одновременно обостряя чувствительность слуховой системы. В таком состоянии мозга фоновая активность слуховой системы начинает восприниматься как шум в ушах, или тиннитус. Типичным примером такой патологии является невринома. На ранней стадии опухоль миелиновой оболочки сдавливает окончания слухового нерва, снижая тем самым порог возбуждения нервного импульса, а деформация спиральной структуры миелиновой оболочки может при этом сказаться на кинети-

ке генерации магнитных вихрей, отвечающих за сальтаторный механизм нервной проводимости.

Фоновые уровни ЧСМ и ЧСС в состоянии релаксации и после воздействия благовоний согласуются с Δ -ритмом (0,5 звуковые колебания 3,0 Гц) здорового человека, наблюдаемым при снижении функциональной активности мозга (см. рис. 4, 5). После дневной умственной работы ДХ уровень его ЧСМ в лобной и лобно-теменной зонах мозга в состоянии релаксации и под воздействием голоса приближается к частоте θ -ритма (4 звуковых колебания по 7 Гц), характеризующей состояние передних областей мозга при длительном эмоциональном напряжении. Тормозящий эффект благовоний согласуется с механизмом действия главной структуры обонятельного мозга (гиппокампа) на электрофизику мозга [3]. Токи в гиппокампе, возбуждаемые благовонием, порождают в обоих полушариях магнитное поле, которое может гасить в них активность акустических пейсмейкеров γ -ритма.

Заключение

Таким образом, метод регистрации и физического анализа частотного спектра ЭЭГ и ЭКГ позволяет получать достоверную и полезную информацию о нейрофизиологических механизмах, лежащих в основе функциональной дифференциации различных зон мозга, а также о зависимости электрической активности мозга от его состояния и влияния на него патологий и различных внутренних и внешних физико-химических факторов. Метод позволил выявить корреляцию частотных спектров ЭЭГ и ЭКГ, заложив в основу ее механизма резонансную связь осцилляций электрической поляризации артериальной крови с динамикой генерации и синхронизации электрической активности нейронов коры.

Авторы выражают благодарность Н. И. Конюхову и А. Р. Хайруллину за интерес к работе и помощь при проведении эксперимента.

Литература

1. *Kholmanskiy A.* Chirality anomalies of water solutions of saccharides // *Journal of Molecular Liquids*. 2016. Vol. 216. P. 683–687.
2. *Холманский А. С.* Фрактально резонансный принцип действия // МИС-РТ. 2003. Сборник № 29–2. URL: <http://technic.itizdat.ru/Uploads/aholy/FIL13654153240N196327001/.pdf> (дата обращения 10.09.2017).
3. *Холманский А. С.* Моделирование физики мозга // *Математическая морфология*. 2006. Т. 5. URL: <http://sgma.alpha-design.ru/MMORPH/N-12-html/holmansky-3/holmansky-3.htm> (дата обращения 10.09.2017).
4. *Холманский А. С., Конюхов Н. И., Минахин А. А.* Субэлементарная физика мозга // *Фундаментальные и прикладные проблемы нейронаук: функциональная асимметрия, нейропластичность и нейродегенерация*. М., 2016. С. 762–770.
5. *Хоружий С.* Дискурсы внутреннего и внешнего в практиках себя // *Московский психотерапевтический журнал*. 2003. № 3. С. 5–25
6. *Каплан А. Я.* Гармония большого взрыва // *Отечественные записки*. 2014. № 2. С. 123–136.
7. *Холманский А. С.* Духовно-физический изоморфизм // *Математическая морфология*. 2008. Т. 7. URL: <http://rostelecom67.ru/user/sgma/MMORPH/N-17-html/holmansky-3/holmansky-3.doc> (дата обращения 10.09.2017).
8. *Цинзерлинг В. А., Сапаргалиева А. Д., Вайншенкер Ю. И., Медведев С. В.* Проблемы нейропластичности и нейропротекции // *Вестник Санкт-Петербургского университета*. 2013. Сер. 11. Вып. 4. С. 3–12.

9. Фокин В. Ф., Пономарева Н. В. Энергетическая физиология мозга. М.: Антидор, 2003. 249 с.
10. Ремизов А. Н., Максина А. Г., Потапенко А. Я. Медицинская и биологическая физика. М.: Дрофа, 2008. 558 с.
11. Фомин Н. А. Физиология человека. М.: Просвещение, 1995. 401 с.
12. Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л. Мозг, разум и поведение. М.: Мир, 1988. 288 с.
13. Vizsáki G. Rhythms of the brain. Oxford: University Press, 2006. 448 p.
14. Семенютин В. Б., Алиев В. А., Берснев В. П., Патцак А., Козлов А. В., Пак В. А. Оценка состояния системы мозгового кровообращения с помощью кросс-спектрального анализа спонтанных колебаний системной и церебральной гемодинамики // Нейрохирургия. 2008. № 1. С. 48–57.
15. Холманский А. С. Цветы Света. URL: <http://magru.net/pubs/2583> (дата обращения 10.09.2017).
16. Холманский А. С. Путь Спасения. URL: <http://magru.net/pubs/2592#3> (дата обращения 10.09.2017).
17. Свищерская Н. Е., Дащинская Т. Н., Таратынова Г. В. Пространственная организация ЭЭГ при активизации творческих процессов // Журнал высшей нервной деятельности. 2001. Т. 51. С. 393–404.
18. Холманский А. С., Минахин А. А. Факторы филогенеза осанки и морфогенеза мозга человека // Наукоедение. 2012. № 4. С. 1–8. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/48pvn412.pdf> (дата обращения 10.09.2017).
19. Хамуда З. А., Петрова Л. Г. Этиология и диагностика ушного шума // Медицинская панорама. 2004. № 1. С. 7.
20. Холманский А. С. Электромеханические модели в нейрофизиологии зубов // Современная стоматология. 2011. № 2. С. 57–59.
21. Холманский А. С. Зависимость ресурса функциональной асимметрии мозга от внешних условий // Асимметрия. 2009. Т. 3. С. 51–71. URL: http://cerebral-asymmetry.narod.ru/Asymmetry_1_2009.pdf (дата обращения 10.09.2017).
22. Рецикова Т. Н. Влияние алкоголя на межполушарные функциональные отношения у человека // Взаимоотношения полушарий мозга. Тбилиси: Мецниереба, 1982. С. 194.
23. Чуприков А. П., Бондаренко В. К., Клейн В. Н. Правополушарная латерализация алкогольной доминанты // Проблемы нейрокибернетики. Ростов н/Д.: РГУ, 1983. С. 252.
24. Брагина Н. Н., Доброхотова Т. А. Функциональные асимметрии человека. М.: Медицина, 1988. 240 с.
25. Данилова Н. Н. Роль высокочастотных ритмов электрической активности мозга в обеспечении психических процессов // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2006. Т. 3. С. 62–72.
26. Basar E. Brain function and oscillations. II: Integrative brain function. Neurophysiology and cognitive processes. Berlin; Hiedelberg: Springer, 1999. 211 p.
27. Basar E., Basar-Eroglu C., Karakas S., Schurman M. Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes // International Journal of Psychophysiology. 2001. Vol. 39. P. 241–248.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2017 г.

Статья рекомендована в печать 5 марта 2018 г.

Контактная информация:

Холманский Александр Сергеевич — д-р хим. наук, доц.; allexhol@ya.ru

Минахин Андрей Алексеевич — врач; aminakhin@yandex.ru

Interrelation of electrical oscillations of heart and brain

A. S. Kholmanskiy¹, A. A. Minakhin²

¹ The Scientific Center «Bemkom», 11, Shenkursky proezd, Moscow, 127340, Russian Federation

² Moscow Scientific and Practical Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine, Branch no. 3, 19, 2nd Volskaya ul., Moscow, 111674, Russian Federation

For citation: Kholmanskiy A. S., Minakhin A. A. Interrelation of electrical oscillations of heart and brain. *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine*, 2018, vol. 13, issue 2, pp. 117–135. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu11.2018.201>

To substantiate the physical models of the mechanism of heuristic thinking, the dependence of the frequency spectra of electrical activity of the brain and heart on the effect on the brain of internal and external physicochemical factors was studied. The electrical circuit of the brain was represented by an open system of chemical synapses and Ranvier intercepts. Oscillators modeled the first ones in the form of current dipoles, and the latter by inductive coils. The lateral asymmetry of the reaction of brain frequencies to the action of light and the inhibitory effect on the electrical activity of all the zones of the brain of incense and voice acoustics were revealed. Correlations of the effects of external and internal factors on the frequency spectra of the brain and heart were established. To explain the relationship between pacemaker systems of the brain and heart, it was suggested that oscillations of its electric polarization caused by the autonomic correction of the oscillations of the sinus node of the heart and the vector of its dipole are superimposed on the pulse oscillations of the arterial blood. Oscillations of the polarization of blood through its capillary systems affect the kinetics of ion-exchange processes in the pacemaker systems of the brain. The well-known EEG rhythms were tied with characteristic frequencies of acoustic and electrical oscillations in the tissues of the brain and skull. It was confirmed that the method of recording the frequency spectra of brain electrical activity makes it possible to differentiate its physiological state depending on the functional load and pathological factors.

Keywords: frequencies, EEG, ECG, current dipole, synapse, factors, correlations.

References

1. Kholmanskiy A. Chirality anomalies of water solutions of saccharides. *Journal of Molecular Liquids*, 2016, vol. 216, pp. 683–687.
2. Kholmanskiy A. S. Fraktal'no rezonansnyi printsip deistviia [Fractal-resonance principle of action]. *MIS-RT 2003. Sbornik № 29-2*. Available at: <http://technic.itizdat.ru/Uploads/aholy/FIL13654153240N196327001/.pdf> (accessed: 10.09.17). (In Russian)
3. Kholmanskiy A. S. Modelirovanie fiziki mozga [Modeling of brain physics]. *Matematicheskaya morfologiya*, 2006, vol. 5. Available at: <http://sgma.alpha-design.ru/MMORPH/N-12-html/holmanskyy-3/holmanskyy-3.htm> (accessed: 10.09.17). (In Russian)
4. Kholmanskiy A. S., Konyukhov N. I., Minakhin A. A. Subelementarnaya fizika mozga [Sub-elementary brain physics]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy neyronauk: funktsional'naya asimmetriya, neuroplastichnost' i neurodegeneratsiya* [Fundamental and applied problems of neuroscience: functional asymmetry, neuroplasticity and neurodegeneration]. Moscow, 2016, pp. 762–770. (In Russian)
5. Khoruzhii S. Diskusii vnutrennego i vneshnego v praktikakh sebia [Discussions of the internal and external in the practice of themselves]. *Moskovskii psikho-terapevticheskii zhurnal*, 2003, no. 3, pp. 5–25. (In Russian)
6. Kaplan A. Ia. Garmoniia bol'shogo vzryva [Harmony of the Big Bang]. *Otechestvennye zapiski*, 2014, no. 2, pp. 123–136. (In Russian)
7. Kholmanskiy A. S. Dukhovno-fizicheskii izomorfizm [Spiritual-physical isomorphism]. *Matematicheskaya morfologiya*, 2008, vol. 7. Available at: <http://rostelecom67.ru/user/sgma/MMORPH/N-17-html/holmanskyy-3/holmanskyy-3.doc> (accessed: 10.09.17). (In Russian)
8. Tsinzerling V. A., Sapargaliyeva A. D., Vaynshenker Yu. I., Medvedev S. V. Problemy neuroplastichnosti i neuroproteksii [Problems of neuroplasticity and neuroprotection]. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 11. Medicine*, 2013, issue 4, pp. 3–12. (In Russian)
9. Fokin V. F., Ponomareva N. V. *Energeticheskaya fiziologiya mozga* [Energy brain physiology]. Moscow, Antidor Pub., 2003. 249 p. (In Russian)
10. Remizov A. N., Maksina A. G., Potapenko A. Ia. *Meditsinskaya i biologicheskaya fizika* [Medical and Biological Physics]. Moscow, Drofa Pub., 2008. 558 p. (In Russian)
11. Fomin N. A. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology]. Moscow, Prosveshchenie Pub., 1995. 401 p. (In Russian)
12. Bloom F. E., Lazerson A., Hofstedter L. *Brain, Mind and Behavior*. New York, 1985 (Russ. ed.: Blum F., Leizeron A., Khofstedter L. *Mozg, razum i povedenie*. Moscow, Mir Pub., 1988. 288 p.)
13. Buzsáki G. *Rhythms of the brain*. Oxford, University Press, 2006. 448 p.

14. Semeniutin V. B., Aliev V. A., Bersnev V. P., Pattsak A., Kozlov A. V., Pak V. A. Otsenka sostoiianiia sistemy mozgovogo krovoobrashcheniia s pomoshch'iu kross-spektral'nogo analiza spontannykh kolebaniï sistemnoi i tserebral'noi gemodinamiki [Evaluation of the state of the cerebral circulation system with the help of cross-spectral analysis of spontaneous oscillations of systemic and cerebral hemodynamics]. *Neirokhirurgiia* [*The Russian Journal of Neurosurgery*]. 2008, no. 1, pp. 48–57. (In Russian)
15. Kholmanskiy A. S. *Tsvety Sveta* [*Flowers of Light*]. Available at: <http://magru.net/pubs/2583> (accessed: 10.09.17). (In Russian)
16. Kholmanskiy A. S. *Put' Spaseniia* [*The Way of Salvation*]. Available at: <http://magru.net/pubs/2592#3> (accessed: 10.09.17). (In Russian)
17. Sviderskaia N. E., Dashchinskaia T. N., Taratynova G. V. Prostranstvennaia organizatsiia EEG pri aktivizatsii tvorcheskikh protsessov [Spatial organization of the EEG in the activation of creative processes]. *Zhurnal vysshei nervnoi deiatel'nosti*, 2001, vol. 51, pp. 393–404. (In Russian)
18. Kholmanskiy A. S., Minakhin A. A. Faktory filogeneza osanki i morfogeneza mozga cheloveka [Factors of phylogeny of human posture and morphogenesis in the human brain]. *Naukovedenie*, 2012, no. 4, pp. 1–8. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/48pvn412.pdf> (accessed: 10.09.17). (In Russian)
19. Khamuda Z. A., Petrova L. G. Etiologiia i diagnostika ushnogo shuma [Etiology and diagnosis of ear noise]. *Meditsinskaia panorama*, 2004, no. 1, p. 7. (In Russian)
20. Kholmanskiy A. S. Elektromekhanicheskie modeli v neurofiziologii zubov [Electromechanical models in the neurophysiology of teeth]. *Sovremennaia stomatologiia*, 2011, no. 2, pp. 57–59. (In Russian)
21. Kholmanskiy A. S. Zavisimost' resursa funktsional'noi asimmetrii mozga ot vnesnikh uslovii [Dependence of the Resource of Functional Brain Asymmetry on External Conditions]. *Asimetriia*, 2009, vol. 3, pp. 51–71. Available at: http://cerebral-asymmetry.narod.ru/Asymmetry_1_2009.pdf (accessed: 10.09.17). (In Russian)
22. Reshchikova T. N. Vliianie alkogolia na mezhpulusharnye funktsional'nye otnosheniia u cheloveka [The influence of alcohol on interhemispheric functional relationships in a person]. *Vzaimootnosheniia polusharii mozga* [*The relationship of the cerebral hemispheres*]. Tbilisi: Metsniereba Pub., 1982, p. 194. (In Russian)
23. Chuprikov A. P., Bondarenko V. K., Klein V. N. Pravopolusharnaia lateralizatsiia alko-gol'noi dominyantny [Right hemispheric lateralization of alcohol dominant]. *Problemy neirokibernetiki*. Rostov na Donu, RGU Pub., 1983, p. 252. (In Russian)
24. Bragina N. N., Dobrokhotova T. A. *Funktsional'nye asimmetrii cheloveka* [*Functional asymmetry of a person*]. Moscow, Meditsina Pub., 1988. 240 p. (In Russian)
25. Danilova N. N. Rol' vysokochastotnykh ritmov elektricheskoi aktivnosti mozga v obespechenii psikhicheskikh protsessov [The role of high-frequency rhythms of brain electrical activity in providing mental processes]. *Psikhologiia. Zhurnal Vysshei shkoly ekonomiki*, 2006, vol. 3, pp. 62–72. (In Russian)
26. Basar E. *Brain function and oscillations. II: Integrative brain function. Neurophysiology and cognitive processes*. Berlin; Hiedelberg, Springer, 1999. 211 p.
27. Basar E., Basar-Eroglu C., Karakas S., Schurman M. Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes. *International Journal of Psychophysiology*, 2001, vol. 39, pp. 241–248.

Author's information:

Alexander S. Kholmanskiy — PhD, Associate Professor; allexhol@ya.ru
 Andrey A. Minakhin — doctor, aminakhin@yandex.ru