

СООТНОШЕНИЕ ДИНАМИКИ МИНУТНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПУЛЬСА И БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРОВИ ЗДОРОВЫХ ЛЮДЕЙ С ГЕОМАГНИТНЫМИ ПУЛЬСАЦИЯМИ Pc5-6

© 2015 г. Т.А. Зенченко* **, А.А. Медведева*, Н.Н. Потолицына***, О.И. Паршукова ***, Е.Р. Бойко ***

*Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН,
142290, Пушкино Московской области, ул. Институтская, 3;

**Институт космических исследований РАН, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32;

*** Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, 167982 ГСП-2,
Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 50

E-mail: zench@mail.ru

Поступила в редакцию 10.02.14 г.

После доработки 24.10.14 г.

Проведено четыре эксперимента по длительному синхронному мониторингу минутных значений пульса и биохимических показателей крови у четырех практически здоровых добровольцев (женщины). Длительность каждого эксперимента 90 мин, регистрацию электрокардиограммы производили непрерывно, частоту забора проб крови – раз в две минуты. В венозной крови определяли текущие концентрации трийодтиронина, кортизола, глюкозы, стабильных метаболитов оксидов азота (NO_x). Обнаружена синхронность колебаний уровней кортизола и свободного трийодтиронина в крови всех четырех волонтеров, а также присутствие в спектрах этих биохимических показателей периодов 7–8 и 15–17 мин. Выявлено наличие периодов в спектрах NO_x , равных 7, 13 и 25–30 мин. Показано, что динамика вариаций сердечного ритма в наибольшей степени определяется ритмами колебаний уровня NO_x в крови, а периоды в вейвлет-спектрах этих физиологических показателей у всех четверых волонтеров близки к периодам спектров синхронных им вариаций вектора геомагнитного поля в частотном диапазоне 0,5–3,0 мГц. Результаты исследования указывают на оксид азота и его метаболиты в крови как на биохимический фактор, с высокой вероятностью участвующий в развитии процесса тонкой «подстройки» организма к вариациям геомагнитного поля и обеспечивающий синхронизацию вариаций сердечного ритма и геомагнитных колебаний в геомагнитно спокойных условиях.

Ключевые слова: солнечно-биосферные связи, синхронизация ритмов, геомагнитные пульсации Pc5, вариации сердечного ритма, биохимические показатели крови.

Ранее нами было показано, что минутные колебания значений частоты сердечных сокращений (ЧСС) здорового человека, находящегося в покое, в значительной степени синхронизованы с колебаниями вектора геомагнитного поля (ГМП) в частотном диапазоне 0,5–3,0 мГц (или с периодами 5–30 мин) [1–3]. Этот эффект наблюдался в 60% экспериментов, проведенных с одним и тем же волонтером в Москве (Россия) и при измерениях в группе из 30 здоровых волонтеров [1]. Данный частотный диапазон в геомагнитном поле соответствует геофизическим пульсациям (Pulsation Continuous) Pc5

(150–600 с) и Pc6 (>600 с). Эти пульсации присутствуют в магнитосфере практически постоянно и, в отличие от других типов геомагнитных пульсаций, характеризуются значительными амплитудами, достигающими в авроральных широтах 30–100 нТл, а во время сильных геомагнитных возмущений – 300–600 нТл [4].

В работе [1] проводили наблюдения за здоровыми людьми, организм которых обладает хорошими адаптационными резервами, и наблюдаемая реакция на вариации вектора ГМП в диапазоне Pc5–Pc6 не выводила измеряемые показатели за пределы физиологической нормы. Однако для лиц с некоторыми нарушениями сердечно-сосудистой системы, такими как нестабильность функции синусового узла, наличие внешнего фактора, влияющего на динамику ге-

Сокращения: ЧСС – частота сердечных сокращений, ГМП – геомагнитное поле, ТЗ – трийодтиронин, ЭКГ – электрокардиограмма.

нерации сердечного импульса, может представлять опасность, увеличивая риск возникновения миграции сердечного водителя ритма и развития фибрилляции. Таким образом, исследование механизма синхронизации сердечного ритма с геомагнитными пульсациями Pс5–Pс6 имеет практическую значимость, поскольку дает возможность продвинуться в решении крайне важной медицинской задачи, а именно в профилактике возможных сердечно-сосудистых катастроф, обусловленных вариациями геомагнитной активности.

Помимо этого, обнаруженный эффект биогеомагнитной синхронизации может оказаться эффективным инструментом для решения одной из фундаментальных проблем гелиобиофизики, а именно выявления конкретных физиологических механизмов реакции биосистем на вариации геомагнитного поля.

Сердечный ритм и его динамика – удобные для регистрации, однако очень сложные в интерпретации интегральные параметры, управляемые целой совокупностью внутренних регуляторных факторов. Чтобы построить рабочую биофизическую модель развития реакции организма на изменение спектра вариаций ГМП, необходимо понять, какие из физиологических механизмов, управляющих динамикой сердечного ритма в данном частотном диапазоне, оказываются чувствительными к вариациям ГМП. К числу таких факторов потенциально могут быть отнесены как интракардиальные процессы (например, генерации и проведения электрического импульса по различным участкам миокарда), так и экстракардиальные, например колебания уровня гормонов в крови или возбуждения-торможения различных отделов вегетативной нервной системы.

В работе [1] на основании анализа 60-ти экспериментов мы показали, что значения длительностей интервалов PQ и QRS обнаруживают синхронизацию с вариациями вектора ГМП в значительно меньшем числе случаев, чем показатель ЧСС и тесно связанный с ним показатель длительности QT-интервала. Таким образом, был сделан вывод, что наблюдаемая чувствительность сердечного ритма с вариациями ГМП обусловлена, скорее всего, экстракардиальными механизмами.

К сожалению, нам не удалось найти в литературе не только экспериментальных, но и сколько-нибудь подробных теоретических данных о том, какими нейрогуморальными механизмами может регулироваться ритмичность изменения ЧСС в покое в миллигерцовом диапазоне частот. Все существующие упоминания относятся к значительно большим временам

наблюдений [5–7]. Единственное упоминание о существовании возможных периодических колебаний концентрации адреналина, норадреналина и 17-оксикортикостероидов в диапазоне 7–9 мин [8,9] было основано на результатах не прямых экспериментов [10], и, к сожалению, их можно рассматривать только как гипотезу. В то же время эти результаты позволили нам предположить, что в значениях других биохимических показателей крови, оказывающих влияние на сердечный ритм, также могут наблюдаться периодические колебания в данном частотном диапазоне.

В настоящее время получены доказательства непосредственного влияния гормонов щитовидной железы на сердечную мышцу. Так, на мембране миокардиальных клеток были обнаружены рецепторы для тиреоидных гормонов и катехоламинов. Рецепторы тиреоидных гормонов также были идентифицированы на участках-активаторах тяжелых цепей миозина, Са-АТФазе саркоплазматического ретикулула, Na,K-АТФазе, являющихся важными регуляторами сердечных сокращений [5].

Считается, что одним из первых проявлений воздействия тиреоидных гормонов на сердечно-сосудистую систему у больных людей и животных в эксперименте является снижение общей сосудистой сопротивляемости. Она может понизиться (на 50–70%), соответственно увеличивая приток крови к мышцам, кожным покровам, сердцу и почкам. Таким образом, воздействие гормонов щитовидной железы может быть как прямым, так и опосредованным через адренергические рецепторы, поскольку β -адренергические эффекты усиливают обусловленное тиреоидными гормонами снижение системной сосудистой резистентности и повышают сердечный выброс [7].

Тиреоидные гормоны сами по себе являются вазодилататорами, непосредственно воздействующими на гладкомышечную ткань сосудистой стенки, а также могут влиять на клетки эндотелия, вызывая высвобождение вазоактивных соединений, в частности оксида азота (NO) [7].

Еще одним метаболитом, влияющим на показатель ЧСС, является кортизол, гормон, вырабатываемый корой надпочечников. Уровень кортизола растет при стрессовых ситуациях, способствует повышению уровня глюкозы в крови, стимулируя процессы глюконеогенеза, повышает потребление глюкозы в клетках центральной нервной системы, оказывает анаболический эффект на метаболизм.

Ранее было показано, что реакция организма кардиологических пациентов на действие магнитных бурь проявляется, в том числе, в изменении секреции кортизола – во время магнитной бури его уровень повышался [11,12]. Таким образом, вопрос о возможном участии данного гормона в формировании физиологического ответа организма на изменение возмущенности магнитного поля уже рассматривался в литературе, однако в указанных работах речь шла о сравнении однократно измеренных средних уровней синтеза данного гормона в геомагнитно спокойное и возмущенное время.

В последнее время в литературе активно рассматривается физиологическая роль оксида азота. Этот метаболит синтезируется группой ферментов NO-синтаз, особенно эндотелиальной NO-синтазой, и играет важную роль в регуляции функции эндотелия, контроле артериального давления и ЧСС. Показано, что NO – основной эндотелиальный фактор релаксации, поддерживающий нормальный тонус сосудистой стенки за счет расслабления гладкомышечной мускулатуры сосудов. Функция NO также заключается в угнетении пролиферации гладкомышечных клеток, уменьшении агрегации тромбоцитов и замедлении адгезии лейкоцитов к эндотелию [13]. При низком уровне NO в крови развивается спазм сосудов, в том числе и коронарных, что может приводить к развитию артериальной гипертензии, тахикардии, тромбозу сосудов.

Таким образом, среди биохимических агентов, влияющих на показатели сердечного ритма, нами были отобраны уровни секреции трийодтиронина (Т3), кортизола, глюкозы, а также стабильных метаболитов оксида азота (NO_x). Целью данной работы было получение ответов на следующие вопросы.

Наблюдаются ли *in vivo* в крови здорового человека, находящегося в покое, *периодические* колебания уровней секреции перечисленных выше биохимических показателей?

Если данные ритмические колебания присутствуют, каковы их амплитудно-частотные характеристики и в какой мере динамика каждого из перечисленных биохимических факторов определяет динамику ЧСС в частотном диапазоне 5–30 мин?

Наблюдается ли синхронизация ритмики биохимических показателей крови с вариациями ГМП, и если да, то в какой мере?

Достаточно ли наблюдаемой степени синхронизации для обоснованного утверждения, что интенсивность секреции какого-либо из рассмотренных биохимических факторов является

вероятной промежуточной ступенью в процессе передачи влияния вариаций ГМП от атомно-молекулярного уровня на уровень функционирования органов и всей сердечно-сосудистой системы в целом?

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено четыре эксперимента по мониторингу минутных показателей сердечного ритма и динамике биохимических показателей у четырех практически здоровых женщин-добровольцев (30 лет, 31 год, 42 года, 45 лет). Эксперимент проводили в г. Сыктывкаре в Отделе экологической и медицинской физиологии Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. Все обследованные лица не предъявляли жалоб на момент обследования, не имели в анамнезе сосудистых катастроф (острый инфаркт миокарда, инсульт, нарушения ритма сердца) и верифицированных метаболических нарушений и эндокринопатий (сахарный диабет, дисфункции щитовидной железы).

Регистрацию электрокардиограммы (ЭКГ) в четырех отведениях проводили в положении лежа, в покое, после 10-минутной адаптации. Для регистрации ЭКГ-сигнала и его обработки использовали технические и программные средства, разработанные ООО «Медицинские компьютерные системы» (г. Зеленоград): выносной блок для регистрации ЭКГ «KARDI-2» и пакет прикладных программ «Экосан-2007» (Зеленоград). Для каждого минутного периода были получены значения ЧСС (уд/мин).

Для синхронного с измерением ЭКГ-сигнала определения биохимических показателей волонтерам в вену левой руки устанавливали капельницу с венозным катетером («TROGE», Германия). При этом съем сигнала ЭКГ производили во втором отведении (правая рука – левая нога). Такая постановка эксперимента позволила избежать возникновения помех в записи ЭКГ-сигнала в моменты забора крови.

Забор крови производили перед началом измерения ЭКГ и затем каждые две минуты в течение 90 мин исследования (всего 46 точек). Объем одномоментно забираемой крови составлял 0,4–0,5 мл. Суммарный объем забранной крови в ходе всего тестирования составил 20–23 мл. Для предохранения от свертывания и сохранения объема циркулирующей крови между периодами забора крови медленно капельно вводили раствор 0,9% NaCl.

Биохимический анализ образцов сыворотки венозной крови включал определение уровня глюкозы энзиматическим методом с использо-

ванием коммерческих наборов фирмы Chrono-lab (Швейцария), уровня свободного ТЗ и кортизола иммуноферментным методом с использованием наборов ЗАО «Алкор Био» (Россия). По имеющимся литературным данным показатели стабильных метаболитов оксида азота и их сумма (NO_x) коррелируют с эндогенной продукцией NO в организме [14], анализ их содержания в плазме крови проводили колориметрически [15].

В качестве геофизических показателей были выбраны усредненные одномоментные значения горизонтальных компонент X и Y вектора геомагнитного поля по данным геомагнитной станции Борок (BOX, $58^\circ 04'$ с.ш., $38^\circ 14'$ в.д.), как расположенной на наименьшем расстоянии от пункта проведения измерений, г. Сыктывкара ($61^\circ 40'$ с.ш., $50^\circ 49'$ в.д.). Данные были получены из сети INTERMAGNET (International Real-time Magnetic Observatory Network, http://ottawa.intermagnet.org/Welcom_e.php).

Нами были выбраны для сравнения значения вариаций именно горизонтальных компонент вектора ГМП, поскольку в геомагнитно-спокойной обстановке они остаются очень близкими при достаточно большом расстоянии между станциями измерения. В отличие от них ежеминутные вариации вертикальной составляющей (Z) в значительной степени зависят от подстилающей поверхности в точке проведения измерений. Следовательно, при столь значительном расстоянии от места проведения эксперимента до геофизической станции, какие имели место в данном исследовании, использование данных по динамике Z -компоненты (и, как следствие, полному вектору ГМП) является неправомерным.

Методы анализа. Расчеты производили в программной среде MATLAB R2010a посредством встроенных функций для вычисления вейвлет-преобразований. Для удаления из спектра высокочастотных шумов, постоянной составляющей и линейных трендов сигнал был предварительно пропущен через полосовой фильтр с окном Блэкмана–Харриса со значениями нижней и верхней частот среза соответственно 0,025 и 0,95 от частоты Найквиста.

При нестабильности колебаний, что свойственно рядам физиологических показателей, важной информацией является не только присутствие определенного периода в спектре сигнала, но и время его появления и исчезновения. Достаточно малая длительность анализируемого сигнала (45–90 точек) не позволяла применить для его обработки метод скользящего спектрально-временного преобразования, по-

этому нами был использован более удобный в данном случае метод вейвлет-преобразования с базовой функцией Морле:

$$\Psi_B(t) = \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)\exp(i\omega t).$$

Для удобства сопоставления результатов, полученных разными методами, масштабные параметры, полученные в вейвлет-анализе, были преобразованы во временные характеристики, аналогичные периодам колебаний в спектральном анализе.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 приведены последовательные значения измеренных в течение всего эксперимента уровней кортизола и свободного ТЗ (волонтеры V1–V4, сверху вниз). На рис. 1а приведены исходные временные ряды, на рис. 1 – они же после исключения линейного тренда и низкочастотных колебаний. Из рис. 1а видно, что у всех волонтеров (за исключением, может быть, первых 15 мин наблюдений у волонтера V1) среднее значение уровня кортизола в крови в течение эксперимента плавно и практически линейно понижается, в то время как среднее значение уровня ТЗ остается постоянным. Однако на фоне этих трендов, отрицательного и нулевого соответственно, в обоих временных рядах наблюдаются периодические, синхронные между собой по фазе колебания, которые становятся намного более наглядными после процедуры исключения низкочастотных трендов (рис. 1б).

Необходимо отметить, что на рис. 1а и б у волонтеров V1 и V3 временные ряды приведены синхронно, для волонтеров V2 и V4 – со сдвигом временного ряда значений ТЗ на одно измерение влево относительно соответствующих значений уровня кортизола. Таким образом, по-видимому, время запаздывания фазы колебаний уровня ТЗ относительно уровня кортизола составляет порядка 1–2 мин, т.е. сравнимо с частотой измерения биохимических показателей в данном эксперименте.

Представленная на рис. 1б выраженная синхронность колебаний значений уровней кортизола и ТЗ приводит к тому, что периоды, наблюдаемые в изменениях этих двух показателей, оказываются очень близкими (рис. 2а,б). Анализ временных рядов ТЗ и кортизола методами вейвлет-преобразования показывает присутствие в динамике обоих показателей у всех обследованных волонтеров периода 16–18 мин, а

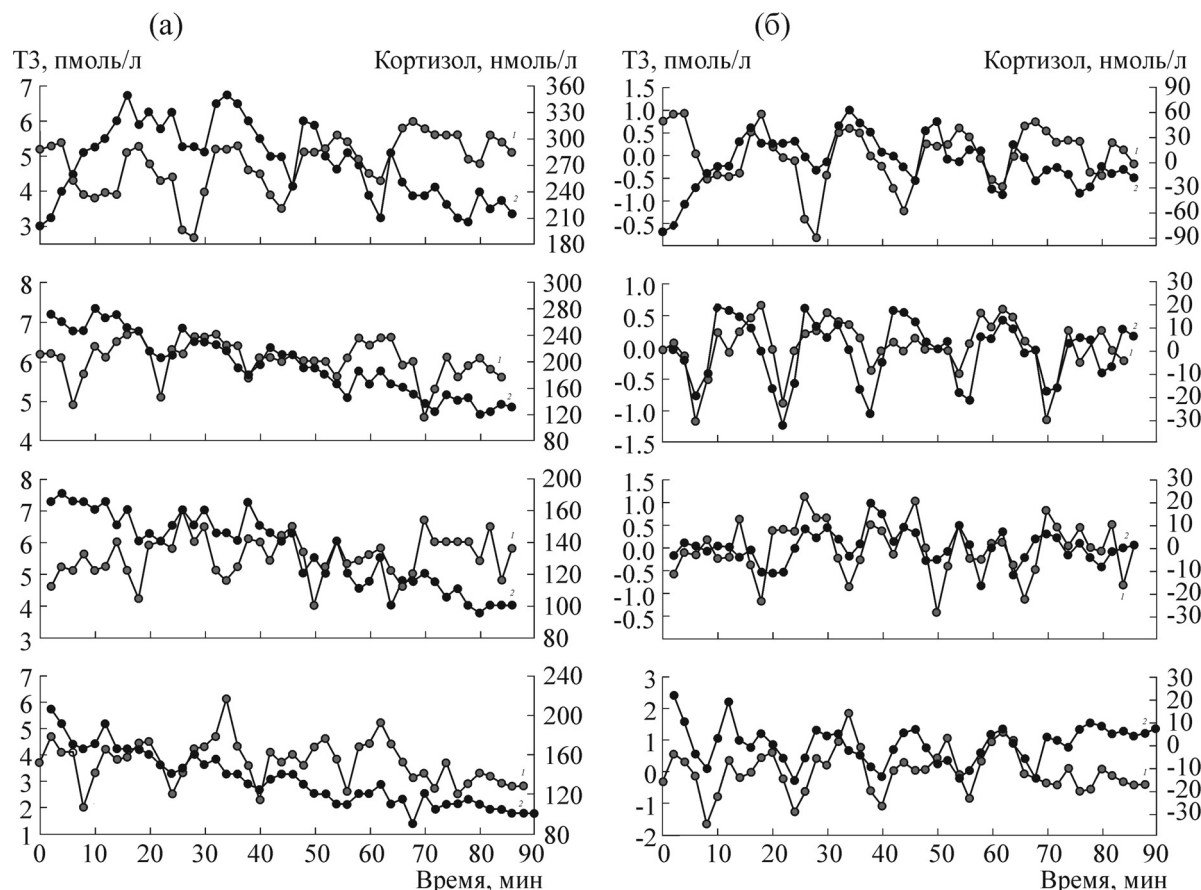


Рис. 1. Временной ход значений показателей уровня свободного ТЗ (кривая 1) и кортизола (кривая 2) в крови четырех волонтеров в состоянии покоя. Сверху вниз V1–V4. (а) – Исходные временные ряды, (б) – после применения полосового фильтра для исключения трендов и низкочастотных колебаний.

также, с меньшей амплитудой, периода в 7–8 мин.

Вейвлет-анализ временных рядов глюкозы (рис. 2в) дает картину, менее согласованную между четырьмя волонтерами, чем в случаях с ТЗ и кортизолом. Видно, что в спектрах рядов глюкозы у волонтеров V1, V2 и V4 достаточно отчетливо выражен период 7 мин, в то время как у волонтера V3 практически не представлен. В то же время только у волонтеров V2 и V3 присутствует период 17 мин, аналогичный представленному в спектрах ТЗ и кортизола.

Сравнительный анализ динамики исходных временных рядов кортизола и глюкозы, как функционально связанных биохимических факторов, показывает, что колебания уровня глюкозы в значительной степени синхронизованы с колебаниями уровня кортизола в соответствующих пробах. Таким образом, близость периодов, наблюдаемых в спектрах уровня глюкозы, к периодам в динамике ТЗ и кортизола не случайна.

Анализ временных рядов показателя NO_x (рис. 3а) свидетельствует о присутствии в вейвлет-спектрах у всех четырех волонтеров сходной тройки периодов: 6–7 мин, 13 мин, 25–30 мин. Самый большой из наблюдаемых периодов (около 30 мин) находится практически на пределе разрешения использованных методов спектрального анализа, поскольку в длительность эксперимента укладываются только три полных периода, поэтому о его присутствии и, тем более, динамике следует говорить с осторожностью.

На рис. 3 приведены также вейвлет-спектры значений показателя ЧСС (рис. 3в) и синхронных им значений горизонтальной компоненты вектора ГМП $VOXY$ по данным геофизической станции Борок (рис. 3б) для всех четырех волонтеров.

Сравнение спектров соответствующих друг другу временных рядов ЧСС и $VOXY$ показывает, что, во-первых, величины наблюдаемых периодов изменяются в течение времени наблюдений, в отличие от спектров кортизола и

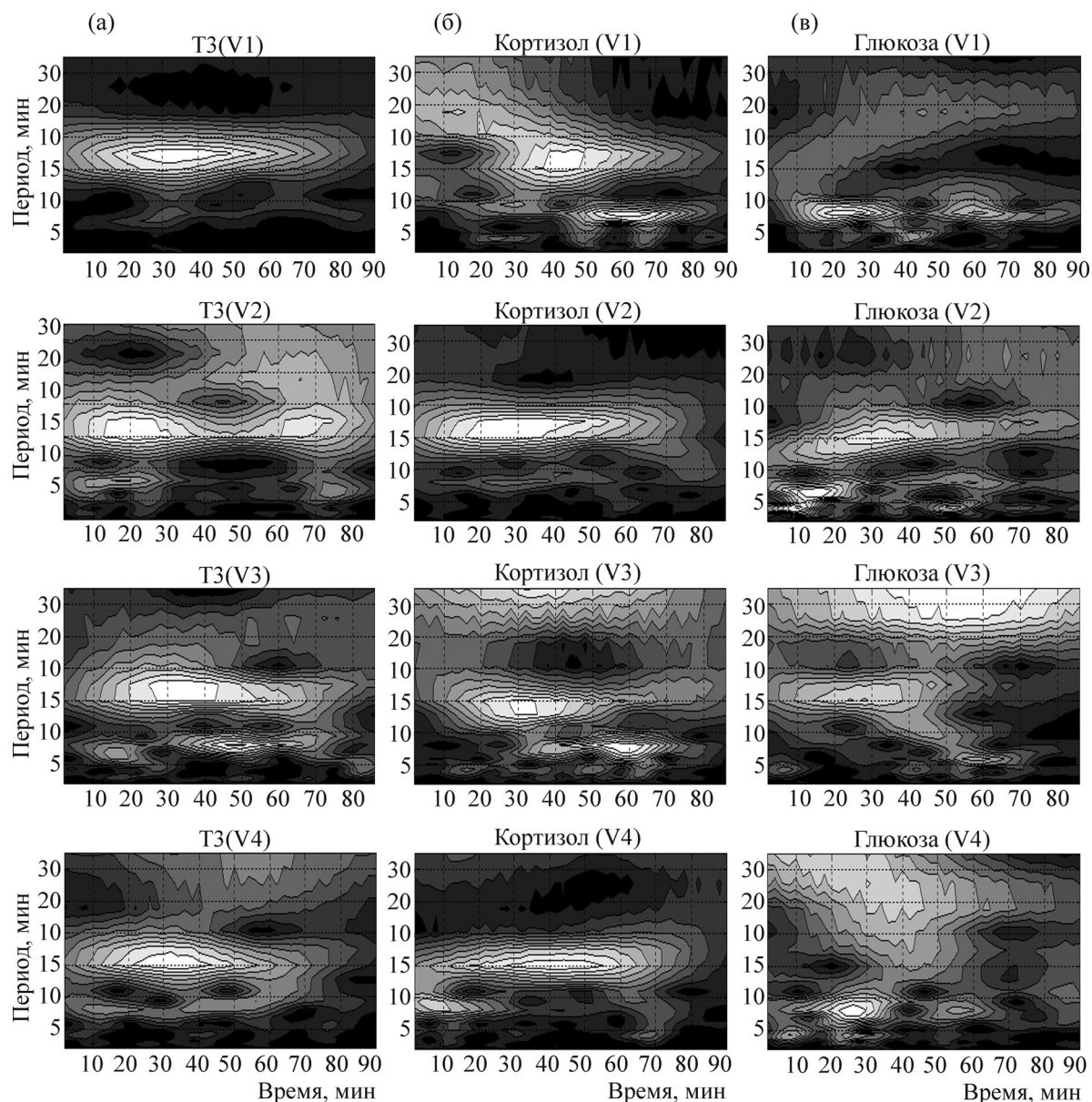


Рис. 2. Вейвлет-образы временных рядов уровня свободного ТЗ (а), кортизола (б) и глюкозы (в) для четырех обследованных волонтеров. По оси абсцисс показано время эксперимента, по оси ординат – величина периода, уровень спектральной плотности отображен градациями серого цвета (максимум – белым, минимум – черным).

ТЗ, рассмотренных выше. Во-вторых, в самой этой динамике изменений спектральной плотности ЧСС и ВОХУ наблюдается значительное сходство.

Наиболее наглядно это видно на примере вейвлет-спектров временного ряда ЧСС волонтера V2 и соответствующего ему ряда значений ВОХУ. Так, с самого начала эксперимента и примерно до 20-й минуты в обоих спектрах присутствуют два периода, меньший из которых составляет около 13 мин, больший – 20–25 мин. Затем практически синхронно в двух рядах происходит изменение спектрального набора (ряд

ЧСС немного «запаздывает» относительно геофизического ряда). И далее после 30-й минуты эксперимента мы снова наблюдаем наборы периодов, очень близкие в двух спектрах: 9–10 мин, 16–18 мин, 28–32 мин. Кроме того, в спектре ЧСС присутствует период около 6 мин, максимумы интенсивности которого приходятся на 15–25-ю и 35–40-ю минуты эксперимента. Некоторое возрастание спектральной плотности периода 6 мин наблюдается на 35–45-й минуте и в динамике ВОХУ.

К сожалению, начиная с 61-й минуты данного эксперимента, в геомагнитном поле воз-

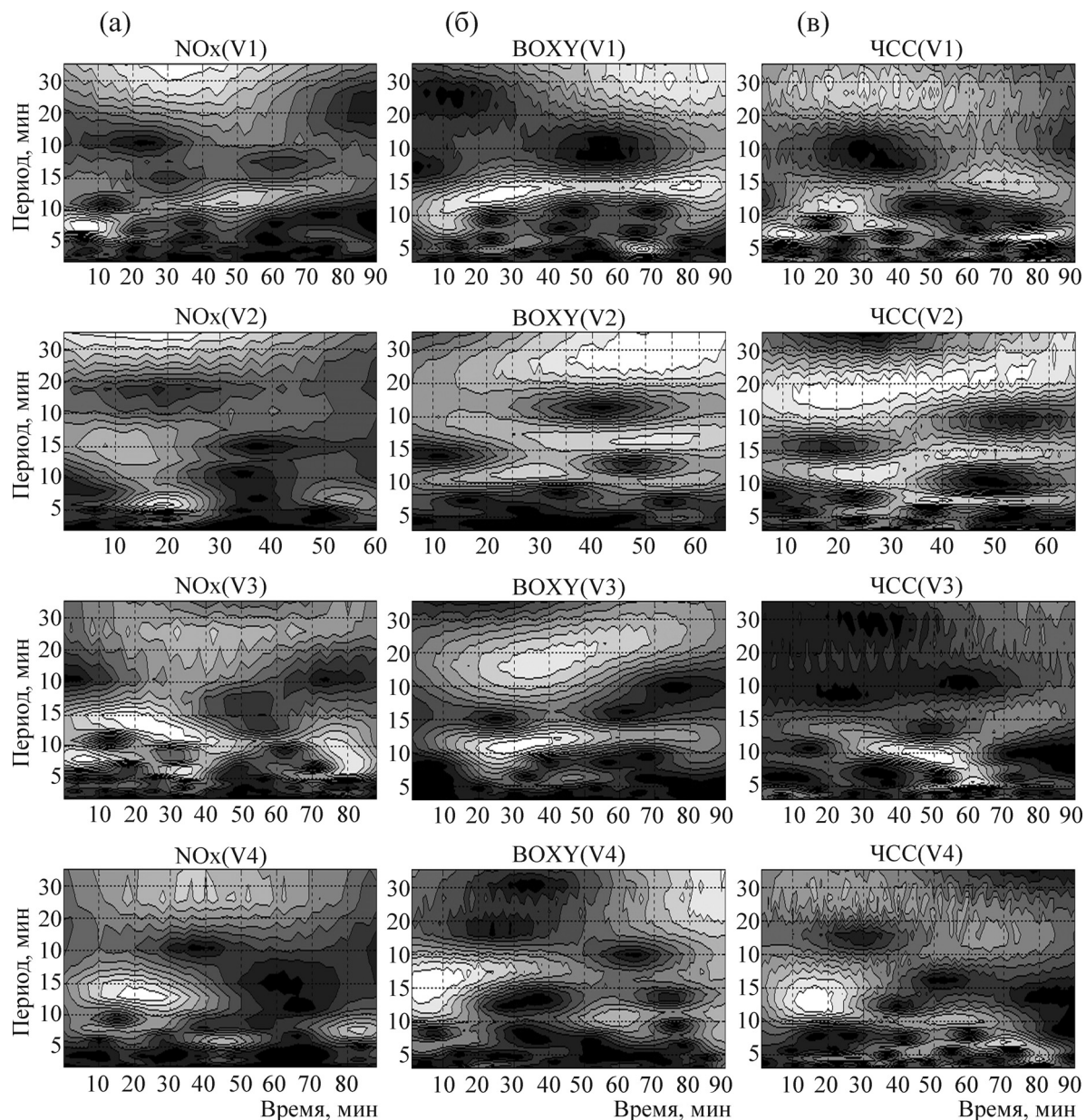


Рис. 3. Вейвлет-образы временных рядов уровня NO_x (а), BOXY (б) и ЧСС (в) для четырех обследованных волонтеров. Обозначения, как на рис. 2. Пояснения в тексте.

никло бухтообразное возмущение (резкое изменение величины вектора ГМП, в несколько раз превышающее амплитуды наблюдаемых периодических колебаний). Включение соответствующего отрезка временного ряда в вейвлет-анализ приводило к резкому понижению чувствительности на всех остальных участках спектра, поэтому его пришлось исключить.

Если сопоставить с этими результатами динамику биохимических показателей волонтера V2, то можно видеть, что в спектрах временных рядов ТЗ и кортизола на протяжении прак-

тически всего времени измерений наблюдается стабильный по величине период в 17 мин (рис. 2а,б). В то же время в спектре NO_x именно на протяжении от начала до 25-й минуты присутствует период с максимумом спектральной плотности порядка 13 мин. После 25-й минуты его интенсивность резко падает, и далее вплоть до 60-й минуты в этой части спектра наблюдаются два слабо выраженных периода: 10–13 и 20–23 мин. 6–7-минутный период в спектре NO_x также присутствует, и первый максимум его интенсивности приходится как раз на 15–25-ю минуты эксперимента, совпадая по времени с его

появлением в ряду ЧСС. У второго, меньшего по амплитуде, максимума интенсивности на 50–55-й минутах, аналогов в спектре ЧСС нет.

Таким образом, в отношении результатов эксперимента волонтера V2 можно сделать вывод, что в этом случае наблюдается очень хорошее совпадение вейвлет-спектров рядов ЧСС и $VOXY$ между собой в той части эксперимента, которая допускает сравнение, т.е. вплоть до 60-й минуты. Также можно сделать вывод, что динамика колебаний ЧСС для данного волонтера в значительно большей степени определяется вариациями уровня NO_x , чем ТЗ и кортизола.

У волонтера V4 во всех трех спектрах (ЧСС, $VOXY$, NO_x) видно присутствие того же набора периодов – 7 мин (большой частью во второй половине времени наблюдений), широкого по частоте всплеска в диапазоне 10–20 мин на первых тридцати минутах эксперимента, а также постоянное присутствие периода 25–30 мин. В то же время малое геомагнитное возмущение, возникшее на последних минутах периода наблюдений, проявляется в спектре $VOXY$ как возрастание спектральной мощности практически во всем диапазоне рассматриваемых периодов. В то же время спектры временных рядов кортизола и ТЗ у данного волонтера являются практически «монохромными» со стабильным ярко выраженным периодом в 15–17 мин и слабым по амплитуде 7-минутным периодом (в самом начале эксперимента), т.е. они заведомо отличаются как от спектра ЧСС для данного волонтера, так и от динамики вектора ГМП.

Для волонтеров V1 и V3 динамика периодов в колебаниях NO_x согласуется со спектрами $VOXY$ даже в большей степени, чем со спектрами ЧСС. У всех трех испытуемых в спектрах $VOXY$ и NO_x присутствуют отчетливо выраженные периоды 7 и 13 мин, причем моменты их появления и усиления в значительной мере синхронны в биохимическом и геофизическом рядах. Так, у волонтера V1 период 7 мин наблюдается на 1–15-й минуте эксперимента во всех трех спектрах: ЧСС, $VOXY$, NO_x . Период 13 мин остается стабильным по величине на протяжении всего эксперимента в динамике $VOXY$ и NO_x , в то время как в спектре ЧСС после 50-й минуты он возрастает до 15–16 мин. Во всех трех спектрах присутствует также и период около 32 мин.

У волонтера V3 в динамике $VOXY$ и NO_x наблюдаются периоды 13 мин (с двумя максимумами спектральной плотности, расположенными в диапазонах 15–50 мин и после 70 мин эксперимента), а также 25–30 мин (на всем протяжении эксперимента, с одним максимумом в диапазоне 30–60 минут эксперимента). Виден также в обоих спектрах и период 7 мин, но

моменты его наибольшего проявления немного не совпадают в двух рядах. В то же время в спектре ЧСС период 25–30 мин отсутствует, а для периодов 7 и 13 мин максимумы интенсивности не совпадают по времени с теми, что видны в спектрах $VOXY$ и NO_x .

Таким образом, анализ результатов всех четырех проведенных экспериментов показывает, что периоды, наблюдаемые в динамике вариаций вектора ГМП в значительной степени совпадают с периодами колебаний в спектрах показателей ЧСС и NO_x , но качественно отличаются от периодов в спектрах рядов ТЗ, кортизола и глюкозы.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Цель постановки данного эксперимента включала в себя поиск ответов на три последовательных вопроса, перечисленных в разделе «Введение».

В рамках ответа на первый из поставленных вопросов было обнаружено, что в динамике всех четырех изученных биохимических показателей *in vivo* присутствуют хорошо выраженные периоды, величины которых близки у всех обследованных волонтеров в пределах точности эксперимента. Было показано, что:

быстрые вариации (порядка нескольких минут) во временных рядах показателей уровней ТЗ и кортизола у каждого из волонтеров изменяются либо синхронно, либо с временным сдвигом в 2 мин;

в спектрах вариаций ТЗ и кортизола присутствуют стабильные выраженные периоды колебаний, равные 16–18 и 7–9 мин (у всех четырех волонтеров);

в колебаниях уровня глюкозы в крови присутствует период в 7–9 мин (три волонтера из четырех); у двоих волонтеров наблюдается также период в 16–17 мин;

в спектрах показателя NO_x наблюдаются периоды 6–7, 13, 25–30 мин (у всех четырех волонтеров);

Необходимо подчеркнуть, что в данной работе в результате прямых измерений удалось впервые наблюдать периодические колебания уровня четырех биохимических показателей в крови здоровых лиц, находящихся в покое. Сравнение с известными литературными данными о периодах полураспада кортизола (около 66 мин) [16] и ТЗ (около суток, [17]) показывают, что наблюдаемые периоды не могут быть объяснены только процессами утилизации данных гормонов. Необходимо отметить, что на динамику исследуемых показателей могут влиять

индивидуальные особенности метаболизма человека, стресс, возраст, время суток, патологические состояния и т.д. [17].

По результатам четырех проведенных экспериментов можно утверждать, что динамика ЧСС и ее изменчивость в значительно большей мере определяются изменениями ритмической структуры колебаний синтеза NO, чем кортизола, ТЗ и глюкозы. Это утверждение нуждается в дополнительном уточнении на основе дальнейших экспериментов, поскольку для окончательного ответа на данный вопрос результатов пока недостаточно.

Из литературы известно, что довольно часто резонансные колебания геомагнитных пульсаций P_{c5} регистрируются на устойчивых дискретных частотах: 1,3 мГц (12,8 мин), 1,9 мГц (8,7 мин), 2,6 мГц (6,4 мин) и 3,4 мГц (4,9 мин) [18,19]. Можно видеть, что первые два из указанных значений близки к периодам, наблюдаемым нами в спектрах как ВОРУ, так и показателей ЧСС и NO_x всех четырех волонтеров (рис. 3). Результаты, полученные в данном исследовании, указывают на оксид азота и его метаболиты в крови как на биохимический фактор, с высокой вероятностью участвующий в развитии процесса тонкой «подстройки» организма к вариациям геомагнитного поля.

Идея о том, что эндотелиальная функция организма является физиологическим показателем, чувствительным к геомагнитным возмущениям, и может реагировать на рост уровня геомагнитной активности значимым изменением средних значений, была высказана в литературе ранее [20]. Полученные нами экспериментальные результаты, указывающие на вовлеченность процессов синтеза NO сосудистым эндотелием в формирование реакции сердечно-сосудистой системы на действие вариаций геомагнитного поля, относятся к геомагнитно спокойным условиям. Несмотря на это отличие и несовпадение характерных временных масштабов наблюдения (десятки и сотни минут в нашем случае и сутки в работе [20]), можно считать, что полученные нами результаты являются экспериментальным подтверждением идей, высказанных в работе [20].

Следующим вопросом, ответ на который необходимо найти в рамках изучения эффекта биогеофизической синхронизации, является вопрос о механизме возникновения данного эффекта. Необходимо понять, является ли близость периодов, представленных в спектрах ЧСС, NO_x и P_{c5}-пульсаций, проявлением реального текущего воздействия вариаций ГМП на организм человека, результатом эволюционной адаптации организма человека к условиям окружающей среды или просто случайным сов-

падением? Ответ на этот вопрос является предметом дальнейшего исследования.

Результаты, представленные в этой статье, были получены с использованием геофизических данных, собранных обсерваторией Борок. Авторы благодарят обсерваторию за предоставленные данные и деятельность в рамках проекта INTERMAGNET по распространению высоких стандартов геофизических наблюдений (www.intermagnet.org).

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Т. А. Зенченко, А. А. Медведева, Н. И. Хорсева и Т. К. Бреус, Геофиз. процессы и биосфера **12** (4), 73 (2013) www.biophys.ru/archive/rhythm-00001.pdf
2. Т. А. Зенченко, *Международная конференция «Структура воды: физические и биологические аспекты» РАН* (СПб., 2013), www.biophys.ru/archive/spb2013/prosp26.htm
3. Т. А. Зенченко, П. М. Нагорский, Т. К. Бреус и С. В. Смирнов, в сб. *IV Международная конференция «Человек и электромагнитные поля»* (Саров, 2013), с. 39.
4. В. А. Пилипенко, Н. Г. Клейменова, О. В. Козырева и др., Геомагнетизм и аэрономия **37** (3), 64 (1997).
5. K. Ojamaa, *Vascul Pharmacol.* **52** (3–4), 113 (2010).
6. K. Ojamaa, A. Kenessey, R. Shenoy, and I. Klein, *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* **279** (6), E1319 (2000).
7. I. Klein and K. Ojamaa, *J. Clin. Endocrinol. Metab.* **78** (5), 1026 (1994).
8. С. А. Котельников, А. Д. Ноздрачев, М. М. Одинак и др., Физиология человека **28** (1), 130 (2002).
9. А. О. Навакатикян и В. В. Крыжановская, *Возрастная работоспособность умственного труда* (Киев, 1979)
10. А. В. Карпенко, Автореф. дис. канд. мед. наук (Киев, 1976).
11. С. И. Рапопорт и Т. К. Бреус, *Клин. мед.*, № 3, 9 (2011).
12. С. И. Рапопорт и Т. К. Бреус, *Клин. мед.*, № 4, 4 (2011).
13. A. Benjafield and B. J. Morris, *Am. J. Hypertension* **9** (13), 994 (2000).
14. D. L. Granger, R. R. Taintor, K. S. Boockvar, and J. B. Hibbs, *Methods Enzymol.*, № 268, 42 (1996).
15. В. А. Метельская и Н. Г. Гуманова, *Клин. лаб. диагностика*, № 6, 15 (2005).
16. А. А. Кишкун, *Биологический возраст и старение: возможности определения и пути коррекции. Руководство для врачей* (ГЭОТАР-Медиа, М., 2008).
17. N. W. Tietz, *Fundamentals of Clinical Chemistry*, Third edition (Saunders company, USA, 1987).
18. J. C. Samson, B. G. Harrold, J. M. Ruohoniemi, et al., *Geophys. Res. Lett.*, № 19, 19441 (1992).
19. C. W. S. Ziesolleck and D. R. McDiarmid, *J. Geophys. Res.* **100** (A 10), 19299 (1995).
20. Y. I. Gurfinkel, T. K. Breus, T. A. Zenchenko, and V. A. Ozheredov, *Open J. Biophys.* **2** (2), 46 (2012), doi: 10.4236/ojbiphy.2012.22007.

The Dynamics of Pulse Rate and Biochemical Parameters in Blood of Healthy Individuals in Relation to Pc5-6 Geomagnetic Pulsations

T.A. Zenchenko* **, A.A. Medvedeva*, N.N. Potolitsyna*,
O.I. Parshukova***, and E.R. Boiko*****

**Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences,
ul. Institutskaya 3, Pushchino, Moscow Region, 142290 Russia*

***Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, ul. Profsoyuznaya 84/32, Moscow, 117997 Russia*

****Institute of Physiology, Komi Scientific Center, Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
ul. Pervomaiskaya 50, Syktyvkar, 167982 Russia*

Four experiments on long-term monitoring of pulse rate and blood biochemical parameters in four healthy volunteers (women) were conducted. The duration of each experiment was 90 minutes, electrocardiography was performed continuously, taking blood sampling every two minutes. In venous blood the current concentrations of triiodothyronine, cortisol, glucose, stable metabolites of nitrogen oxides (NO_x) were determined. Synchronicity in oscillations of cortisol and free triiodothyronine levels in the blood of all four volunteers was detected, as well as the presence of the periods of 7–8 min and 15–17 min in the spectra of these biochemical parameters was observed. The periods in the spectra of NO_x are equal to 7 min, 13 min and 25–30 min. It is shown that the dynamics of variations in the heart rate is determined mostly by the rhythms of fluctuations in the level of NO_x in the blood, and the periods in wavelet spectra of these physiological parameters in all four volunteers are close to the periods of their spectra synchronous variations of a geomagnetic field vector in the frequency range of 0.5–3 mHz. The results obtained in this study indicate that the presence of nitric oxide and its metabolites in the blood is a biochemical factor, with high probability of its participation in the developmental process of the fine «tuning» of the body to the variations of the geomagnetic field providing synchronization of variations in heart rate and geomagnetic fluctuations in the geomagnetic quiet conditions.

Key words: sun-biosphere relationships, synchronization of rhythms, Pc5 geomagnetic pulsations, variations in cardiac rhythm, blood biochemical parameters