

УДК 577.4

СИНХРОНИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ЧЕЛОВЕКА И ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 0.5–3.0 мГц

© 2013 г. Т.А. Зенченко^{1,2}, А.А. Медведева¹, Н.И. Хорсева^{2,3}, Т.К. Бреус²

¹ Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино, Московская обл., Россия

² Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

³ Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, г. Москва, Россия

Проведено 57 экспериментов по мониторингу минутных показателей сердечного ритма в состоянии покоя у 38 практически здоровых лиц (9 мужчин и 29 женщин) в возрасте от 18 до 58 лет, длительность каждого периода наблюдений составила от 60 до 200 мин. Измеряли частоту сердечных сокращений, а также усредненные за 1 мин длительности участков кардиоцикла, отражающие прохождение электрического возбуждения по различным участкам миокарда. Сопоставление динамики минутных значений этих физиологических показателей с вариациями X - и Z -компонент вектора геомагнитного поля показало, что в 2/3 экспериментов наблюдается синхронизация колебаний частот сердечных сокращений и вариаций компонент вектора геомагнитного поля. Обнаружено не только совпадение величин наблюдаемых периодов колебаний длительностью 4–30 мин, но и приблизительная синхронность моментов их возникновения и исчезновения.

Ключевые слова: геомагнитное поле, вариации сердечного ритма.

PACS 91.62.Xy (Biosphere/atmosphere interactions)

Введение

До настоящего времени нет единого мнения об иерархических уровнях и системах организма человека, в которых происходит развитие реакции на магнитную бурю, а также о путях развития такой реакции. Начиная с 1970-х годов многими авторами была высказана гипотеза, что влияние вариаций геомагнитного поля (ГМП) на организм человека носит резонансный характер. Общий смысл высказанных предположений заключался в том, что различные системы организма человека реагируют на вариации ГМП в том случае, если основные частоты соответствующих физиологических процессов (например, сердечных или мозговых) близки к частотам, присутствующим в спектре вариаций ГМП (см., например, [Владимирский, Волынский, 1971; Холодов, 1982;

Владимирский, Темурьянц, 2000; Cherry, 2002; Колесник и др., 2003, 2009; Побаченко и др., 2006; Клейменова и др., 2007; Рапопорт, Бреус, 2011]).

Хорошо известно, что сердечно-сосудистая система организма человека обладает способностью генерировать электромагнитные поля с основной собственной частотой в диапазоне 0.8–2.5 Гц (частота сердечных сокращений) и набором ее гармоник различной частоты и интенсивности. До настоящего времени этот диапазон, по-видимому, являлся единственным из частотных диапазонов, для которого был экспериментально показан факт сопряжения колебаний параметров сердечного ритма у здоровых людей и частоты основной моды внешнего электромагнитного фона [Колесник и др., 2003, 2009]. Очевидно, что этот биоритм сердечно-сосудистой системы организма человека по частотному диапазону близок к диапазону альвеновского резонатора, образованного нижней ионосферой и областью ионосферы, расположенной выше основного максимума электронной концентрации ($h \geq 1000$ км).

Однако частотный диапазон физиологических процессов, регулирующих в том числе и текущие значения пульса, намного шире, чем приведенный выше. Например, периоды, характерные для синтеза гормонов, согласно современным данным, достигают минут и первых десятков минут [Котельников и др., 2002]. Существуют также предположения и теории, что влияние ГМП на организм человека может происходить через модуляцию скорости синтеза отдельных гормонов, например мелатонина [Рапопорт, Бреус, 2011].

Целью данной работы является экспериментальное исследование степени сопряженности физиологических процессов сердца с вариациями геомагнитного поля в диапазоне частот от 0.5 до 3.0 мГц (периоды 5–30 мин).

Материалы и методы

Было проведено 57 экспериментов по мониторингу минутных показателей сердечного ритма у практически здоровых лиц в состоянии покоя. Для регистрации ЭКГ-сигнала и его обработки использовали технические и программные средства, разработанные ООО «Медицинские компьютерные системы»: выносной блок для регистрации ЭКГ-сигнала «KARDI-2» и пакет прикладных программ «КардиоВизор-06сИ» (г. Зеленоград).

В 30 экспериментах наблюдения проводились на одном и том же волонтере 1 (женщина, 44 года), период проведения наблюдений – сентябрь–ноябрь 2011 г., март–апрель 2012 г. Длительность периода наблюдений составляла в разных экспериментах от 60 до 200 мин.

В остальных 27 экспериментах участвовали практически здоровые волонтеры (9 мужчин и 28 женщин) в возрасте от 18 до 58 лет. Период проведения измерений – март 2012 г., длительность каждого эксперимента составила 60 мин.

Критериями исключения при проведении наблюдений служили сильная усталость, наличие стрессов или заболеваний, прием кофе в течение 4 ч перед измерениями. Регистрацию ЭКГ-сигнала в четырех отведениях проводили в положении лежа, в покое, после 10-минутной адаптации. Для каждого минутного периода были получены значения частоты сердечных сокращений (heart rate, HR, уд./мин), а также усредненных за 1 мин длительностей участков кардиоцикла, отражающих прохождение электрического возбуждения по различным участкам миокарда [Мурашко, Струтынский, 1987]:

1) PQ – промежуток времени от начала зубца P до начала зубца Q электрокардиограммы, отражающий продолжительность проведения импульса возбуждения по пред-

сердиям, атриовентрикулярному соединению и системе Гиса; длительность в норме колеблется в интервале 120–200 мс;

2) QRS – длительность фазы деполяризации желудочков, измеряется во втором стандартном отведении от начала зубца Q до конца зубца S ; продолжительность в норме составляет 60–100 мс;

3) QT – расстояние от начала комплекса QRS до завершения зубца T – сумма процессов деполяризации и последующей реполяризации миокарда желудочков (так называемая электрическая систола желудочков). Нормальные значения интервала QT колеблются в пределах 350–440 мс.

В качестве геофизических показателей были выбраны одноминутные значения горизонтальной ($MOSX$) и вертикальной ($MOSZ$) компонент вектора геомагнитного поля по данным геофизической станции Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН) (расстояние от станции до места проведения измерений – 80 км (см. сайт в Интернете: http://forecast.izmiran.rssi.ru/BANK_mos.htm).

Расчеты производились в программной среде MATLAB R2010a посредством встроенных функций. Был применен метод расчета рангового коэффициента корреляции Спирмена (r_s) с оценкой уровня значимости (p); перед вычислением коэффициента корреляции или кросскорреляционной функции из всех анализируемых временных рядов был исключен линейный тренд.

При расчетах Фурье-преобразования 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 0.75 частоты Найквиста.

При нестабильности колебаний, что свойственно рядам физиологических показателей (ФП), важной информацией является не только присутствие определенного периода в спектре сигнала, но и время его появления и исчезновения. Достаточно малая длительность анализируемого сигнала (60–200 точек) не позволяла применить для его обработки метод скользящего спектрально-временного преобразования, поэтому нами был использован более удобный в данном случае метод вейвлет-преобразования с базовой функцией Морле (вещественной и комплексной)

$$\Psi_b(t) = \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \cdot \cos(5t); \quad \Psi_k(t) = \exp\left(j5t - \frac{t^2}{2}\right).$$

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

Сопоставление динамики различных физиологических показателей между собой

В течение экспериментов наблюдаемые величины ФП находились в пределах физиологической нормы, за исключением редких единичных превышений.

Анализ корреляционной связи усредненных по 1 мин значений параметров HR с соответствующими длительностями интервалов PQ , QRS и QT подтвердил хорошо известную в литературе [Мурашко, Струтынский, 1987] обратную пропорциональность

между значениями HR и длительностью интервала QT . Так, в серии экспериментов, проведенных на одном волонтере, отрицательная корреляция с высоким уровнем значимости ($p < 0.01$) между HR и QT наблюдалась в 29 случаях из 30, при наблюдении за группой волонтеров – в 21 случае из 27. В то же время статистическая связь HR со значениями интервалов PQ и QRS наблюдалась значительно реже и составила соответственно 2 и 3 случая из 30 для одного волонтера и 8 и 4 случая из 27 для группы волонтеров.

Иллюстрация эффекта синхронизации

Эффект синхронизации колебаний измеренных ФП с вариациями компонент вектора геомагнитного поля заметен уже на стадии сопоставления временных реализаций. Это иллюстрирует рис. 1, на котором приведены два типичных примера экспериментальных результатов: на рис. 1, *a* показаны временные ряды значений HR волонтера 1 (женщина, 44 года) и горизонтальной компоненты ГМП (дата наблюдений 10.11.2011 г.). Ряды на этом рисунке приведены после применения низкочастотного фильтра (граница фильтра $f_l = 0.025$ частоты Найквиста), поскольку значительный линейный тренд, наблюдавшийся в этот период в значениях ГМП, не позволял увидеть динамику минутных колебаний. На рисунке 1, *г* приведены временные ряды HR и вертикальной компоненты ГМП, полученные в эксперименте 13.03.2012 г. при наблюдении за волонтером 10 (женщина, 27 лет). Видно присутствие в обоих рядах низкочастотных колебаний с периодом, близким к 35 мин, однако, как и в случае рис. 1, *a*, совпадают и более быстрые вариации.

Функция кросс-корреляции (рис. 1, *б*), соответствующая временным рядам, изображенным на рис. 1, *a*, имеет периодичность с периодом, близким к 10 мин. В этом эксперименте собственно корреляционная связь между анализируемыми рядами выражена довольно слабо (максимум коэффициента корреляции соответствует двухминутному запаздыванию значений HR относительно $MOSX$, $r_s = 0.211$, $\log(p) = -1.49$).

На графике рис. 1, *д* степень корреляционной связи между $HR(v10)$ и $MOSZ$ выше, чем в случае графика, приведенного на рис. 1, *б* ($r_s = -0.506$, $\log(p) = -4.33$). Форма кросс-корреляционной кривой, достаточно узкая в районе экстремума, показывает, что в данном случае синхронизация достигается в том числе и за счет вклада высокочастотных колебаний.

Необходимо, однако, подчеркнуть, что поскольку изучаемые параметры – и физиологические, и компоненты ГМП, – являются в значительной степени квазипериодическими, получаемую стандартную оценку значимости коэффициента корреляции нужно принимать с осторожностью.

Анализ Фурье-спектров мощности двух рядов (рис. 1, *в*) для эксперимента 10.11.2011 г. показывает совпадение практически всех основных периодов: около 20, 10, 7 и 5 мин, и только небольшое расхождение в интервале периодов ~ 13 –15 мин. В случае эксперимента 13.03.2012 г. сравнение функций спектральной плотности (рис. 1, *е*) показывает, что с точностью до уровня разрешения данного метода на такой длине временного ряда основные периоды оказываются приблизительно теми же, что и в случае эксперимента 10.11.2011 г. – 20–25, 10 и 4–5 мин.

Поскольку анализируемые ряды являются нестационарными, то для выявления временной динамики спектрального состава колебаний был использован метод комплексного вейвлет-преобразования с базовой функцией Морле (рис. 2). Рис. 2, *a* соответствует результатам эксперимента 10.11.2011 г., рис. 2, *б* – эксперименту 13.03.2012 г. Показаны также вейвлет-спектры HR двух компонент ГМП, с которыми производилось сравнение.

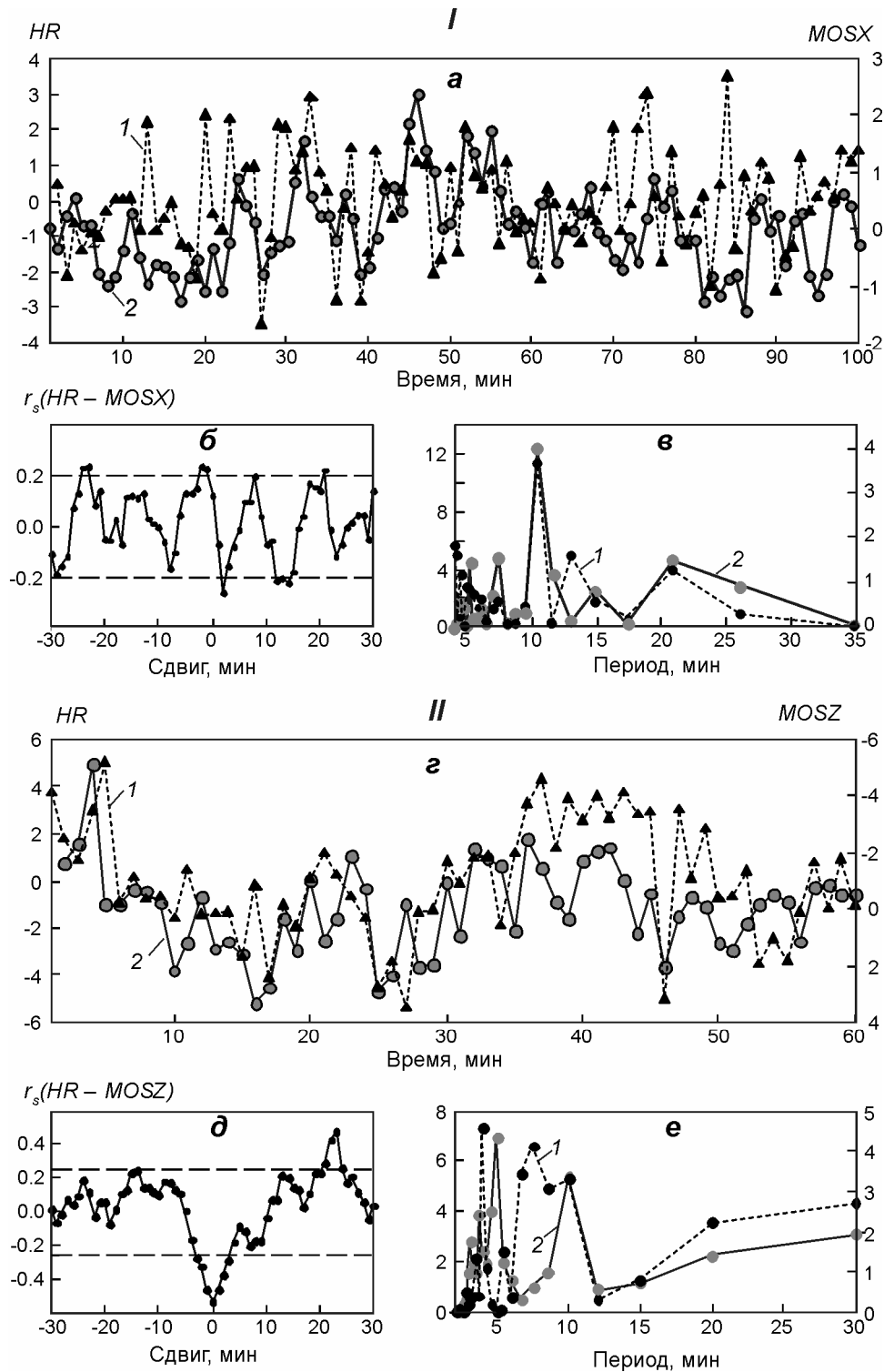


Рис. 1. Примеры синхронизации вариаций физиологических и геомагнитных параметров

I. Временные ряды (а) HR (1) и MOSX (2), полученные в ходе эксперимента 10.11.2011 г. (волонтер 1 – женщина, 44 года; ряды приведены после применения низкочастотного фильтра с границей $f_1 = 0.025$ частоты Найквиста) и функции кросс-корреляции (б) и спектральной плотности Фурье-преобразования (в), построенные по данным эксперимента (1 – HR; 2 – MOSX).

II. Временные ряды (z) HR (1) и MOSZ (2), полученные в ходе эксперимента 13.03.2012 г. (волонтер 10 – женщина, 27 лет; ряды приведены после применения низкочастотного фильтра с границей $f_1 = 0.005$ частоты Найквиста; шкала значений MOSZ дана в инвертированном виде) и функции кросс-корреляции (д) и спектральной плотности Фурье-преобразования (е), построенные по данным эксперимента (1 – HR; 2 – MOSZ)

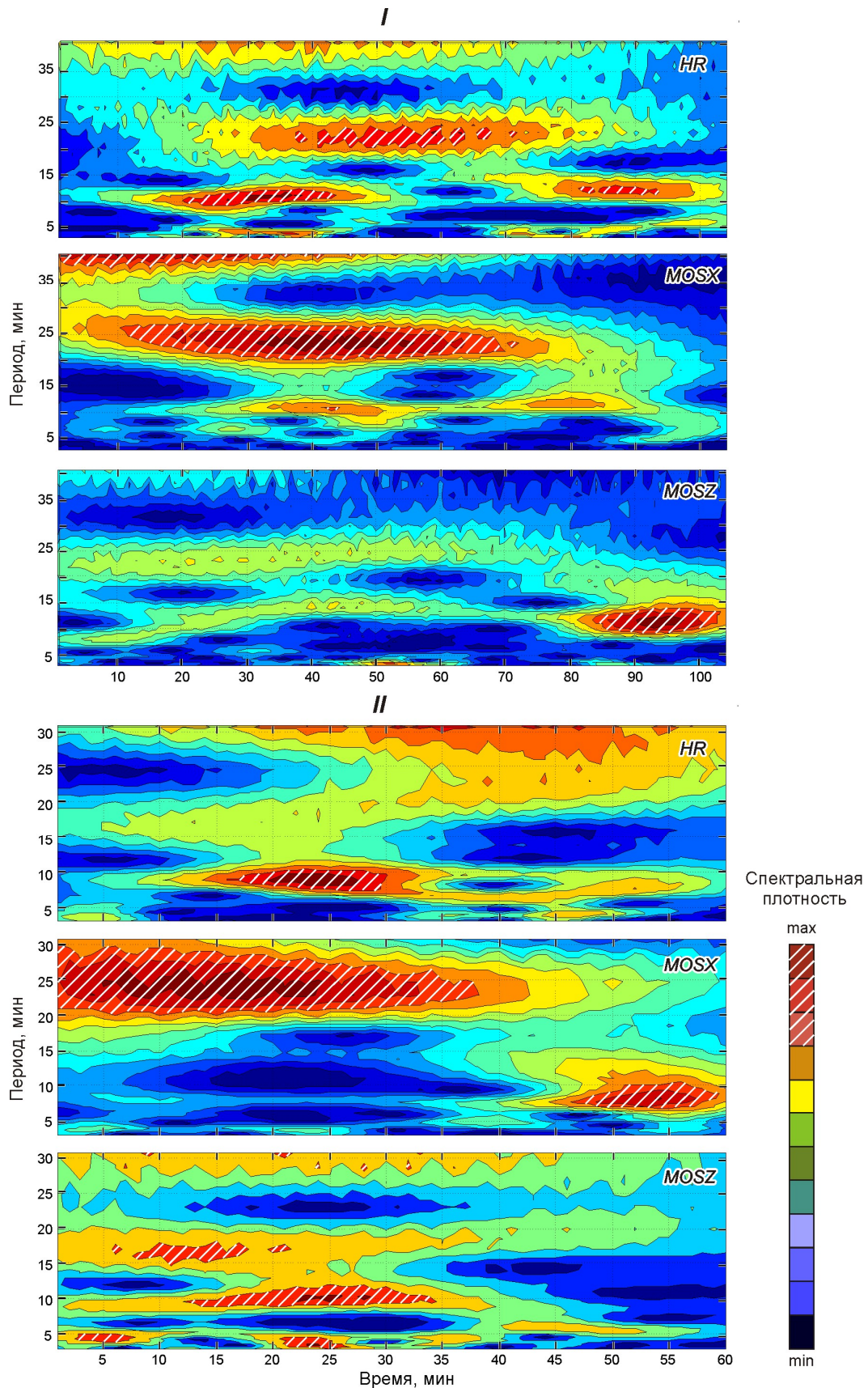


Рис. 2. Частотно-временные распределения спектральной плотности временных рядов, полученных методом комплексного вейвлет-преобразования в экспериментах 10.11.2012 г. (I) и 13.03.2012 г. (II). Пояснения см. в тексте

Пример на рис. 2, *а* иллюстрирует типичную ситуацию, когда наблюдается синхронизация временного ряда *HR* сразу с обеими компонентами вектора ГМП, однако в данном случае совпадение с *MOSX* более наглядно. Во всех трех рядах присутствуют периоды, примерно равные 22–23 и 10–11 мин. При этом в рядах *HR* и *MOSX* период в 23 мин имеет высокую интенсивность с 30-й по 70-ю мин эксперимента, а далее ослабевает. Период 10–11 мин в рядах *HR* и *MOSX* синхронно возрастает в районе 15–55-й и с 70-й мин эксперимента и несколько ослабевает вне этих временных отрезков.

Другой типичный пример, когда наблюдается синхронизация колебаний *HR* с одной из компонент ГМП (в данном случае – вертикальной), представлен на рис. 2, *б*. Обращает на себя внимание, во-первых, сходство динамики 10-минутного периода в рядах *HR* и *MOSZ*, интенсивность которого одновременно в двух рядах нарастает в районе с 10-й по 35-ю мин (с максимумом на 20–30 мин) и постепенно снижается к концу эксперимента. Во-вторых, видны всплески интенсивности колебаний на 4-минутном периоде на первых 10 мин эксперимента и в районе 35-й мин, однако помимо этих совпадений в ряду *MOSZ* есть и еще один всплеск интенсивности на 20–25-й мин, не имеющий аналога в ряду *HR*. В-третьих, в обоих рядах изначально присутствуют периоды около 30 и 17 мин, а во второй половине эксперимента максимум спектральной плотности перемещается в область периодов 20–25 мин. Таким образом, если 10- и 4–5-минутные периоды присутствуют в обоих приведенных примерах и являются довольно характерными как для геофизических, так и для физиологических рядов, то динамика более длинных периодов различается, показывая, что эффект синхронизации может наблюдаться при разных видах спектров.

Для подробной иллюстрации степени синхронизации совпадающих компонент спектра на рис. 3, *а, б, г, д* приведена динамика действительной части вейвлет-преобразования временных рядов. Временная динамика амплитуд совпадающих мод в спектрах сигналов *HR* и компонент ГМП, обозначенных на рис. 3, *а, б, г, д* горизонтальными белыми линиями, показана на рис. 3, *в, е*.

На рис. 3, *в* представлен временной ход спектральных составляющих, полученных в ходе эксперимента 10.11.2011 г. для периодов 21, 11 и 5 мин. В этом эксперименте наблюдалась положительная корреляция временных рядов *HR* и *MOSX* с запаздыванием ряда *HR* на 2 мин (см. рис. 1, *б*). Анализ данных, приведенных на рис. 1, *б*, показывает, что фазы выделенных мод с хорошей точностью (1–2 мин) синхронны в этих двух рядах.

Рис. 3, *е* соответствует эксперименту 13.03.2012 г. с периодами 17, 10 и 4 мин, причем шкала для компонент *MOSZ* дана в инвертированном виде, чтобы подчеркнуть степень совпадения экстремумов. В этом эксперименте корреляция между *HR* и *MOSZ* была отрицательной (см. рис. 1, *д*), что хорошо согласуется с противофазным ходом основных выделенных мод (17 и 10 мин) на рис. 3, *е*.

Необходимо отметить, что в обоих экспериментах для всех приведенных мод наблюдается также синхронизация амплитудной модуляции сигнала на выделенных частотах.

Таким образом, все использованные методы анализа показывают, что в период проведения экспериментов колебания, наблюдаемые во временном ряду значений *HR*, в значительной степени были синхронны колебаниям, присутствующим в динамике одной из компонент вектора индукции геомагнитного поля.

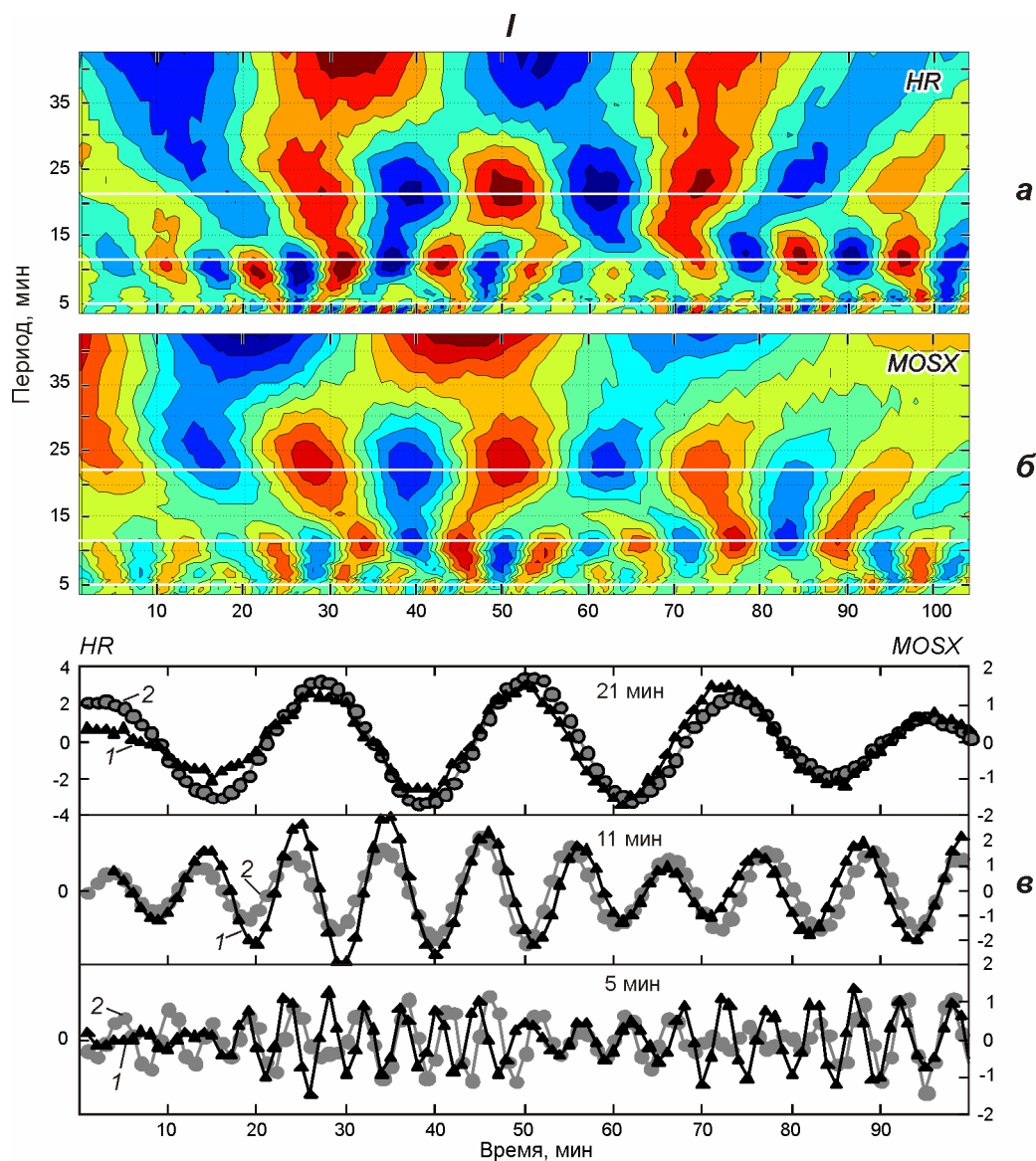


Рис. 3 (начало). Фазово-амплитудная динамика колебаний, полученная методом вещественного вейвлет-преобразования временных рядов данных экспериментов 10.11.2011 г. (I) и 13.03.2012 г. (II), для разных амплитуд периодов. Пояснения см. в тексте

Сравнение чувствительности показателей кардиоцикла к вариациям ГМП

Сравнение степени чувствительности различных показателей кардиоцикла к вариациям компонент ГМП были сделаны на основе результатов корреляционного анализа. На рис. 4 приведено распределение числа случаев значимой корреляции показателей HR , PQ , QRS и QT с вариациями двух компонент вектора магнитного поля для двух выборок: 1) из 27 экспериментов на группе волонтеров (см. рис. 4, а); 2) из 30 экспериментов, проведенных на волонтере 1 (см. рис. 4, б). Сравнение показывает их принципиальное сходство. Так, в обеих выборках примерно в 2/3 случаев наблюдалась значимая корреляция между вариациями хотя бы одной из компонент вектора ГМП, с одной стороны, и показателями HR (59 и 63 % случаев соответственно) – с другой. Высокий процент встречаемости наблюдается в обеих выборках и для функционально связанного с HR показателя длительности интервала QT (41 и 73 % случаев соответственно).

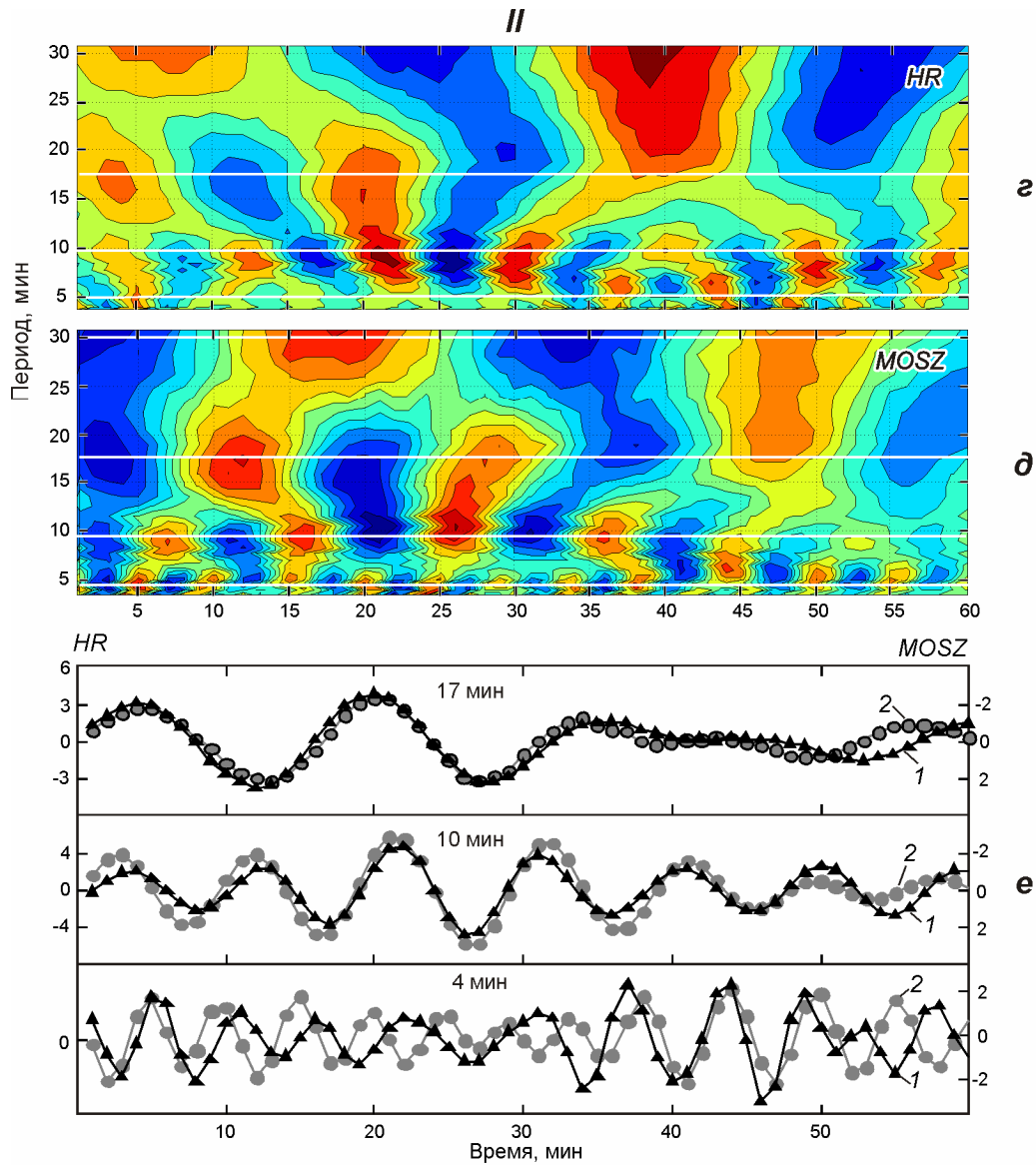


Рис. 3 (окончание)

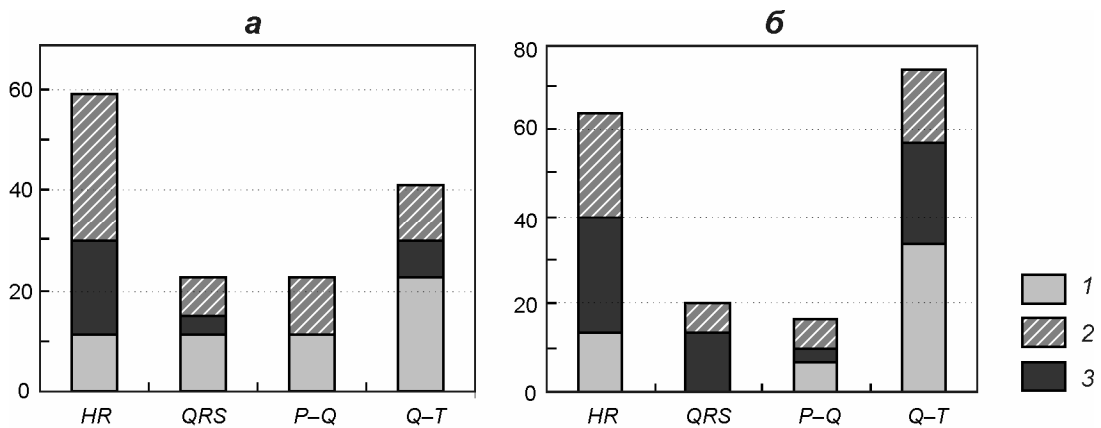


Рис. 4. Распределения числа случаев значимой ($p < 0.05$) корреляции между временными рядами различных показателей кардиоцикла и компонентами вектора индукции ГМП для выборок из 27 экспериментов на группе волонтеров (а) и из 30 экспериментов, проведенных на волонтере 1 (б)

Корреляция: 1 – с MOSX; 2 – с MOSZ; 3 – с обеими компонентами

В то же время для длительностей интервалов PQ и QRS такая корреляция наблюдалась значительно реже – 22 % случаев для обоих показателей в случае выборки, приведенной на рис. 4, а, и 17 и 20 % соответственно для выборки, приведенной на рис. 4, б.

Таким образом, предварительный сравнительный анализ степени синхронизации различных физиологических показателей в двух выборках экспериментов – по группе волонтеров и по одному волонтеру в разные периоды времени – показал их принципиальное сходство.

Обсуждение

Обнаруженный эффект синхронизации колебаний сердечного ритма здорового человека, находящегося в покое, с колебаниями вектора магнитной индукции ГМП в миллигерцовом диапазоне частот может оказаться эффективным инструментом для решения одной из наиболее актуальных задач гелиобиофизики, а именно: выявления конкретных физиологических механизмов реакции биосистем на низкоинтенсивные вариации внешних факторов.

В электрофизиологии принято считать, что вариации показателей HR и QT в значительной степени определяются балансом вегетативной нервной системы, в то время как изменения длительности PQ - и QRS -интервалов обычно трактуются как нарушения проводимости определенных локальных участков миокарда [Мурашко, Струтынский, 1987]. В настоящей работе изложены результаты двух серий экспериментов по мониторингу показателей сердечного ритма: на группе из 27 практически здоровых волонтеров разного возраста и на одном волонтере на протяжении нескольких месяцев (30 экспериментов). В обеих сериях экспериментов получены сходные результаты: показатели HR и длительности QT -интервала в значительно большем числе случаев демонстрируют совпадение основных мод колебаний в диапазоне от 5 до 30 мин с колебаниями вектора ГМП, чем показатели длительности PQ - и QRS -интервалов. Таким образом, обнаруженные различия в чувствительности этих двух групп показателей позволяют высказать гипотезу, что за формирование эффекта синхронизации с большей вероятностью могут быть ответственны механизмы, управляющие вегетативным балансом организма. Этот вывод согласуется с выводом работы [Рапопорт, Бреус, 2011], что реакция организма человека на магнитные бури проявляется в виде изменения показателей вегетативного баланса, отвечающих за развитие неспецифической стресс-реакции.

Чтобы решить задачу идентификации конкретных физиологических механизмов и путей развития физиологической реакции организма на действия внешних факторов низкой интенсивности, к которым относятся вариации геомагнитного поля, необходимо дальнейшее исследование обнаруженного эффекта. В настоящее время можно указать следующие пути решения этой задачи.

1. Расширение перечня параллельно измеряемых параметров окружающей среды за счет вариаций атмосферных показателей, изменение которых в миллигерцовом диапазоне может иметь значительную амплитуду (атмосферное давление, относительная влажность, скорость ветра), напряженности электрического поля в точке проведения измерений, инфразвука и сравнительный анализ степени зависимости динамики HR от этих параметров.

2. Проведение экспериментов по синхронному измерению вариаций сердечного ритма, показателей вегетативного баланса и вектора индукции ГМП. Такой эксперимент позволит проверить высказанную выше гипотезу, что синхронизация колебаний HR с магнитным полем определяется реактивностью механизмов, отвечающих за активацию симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы.

3. К сожалению, нам не удалось найти в литературе упоминания о том, какими гуморальными механизмами может регулироваться изменение частоты сердечных сокраще-

ний в покое в исследуемом диапазоне частот. Поэтому необходимо проведение синхронного мониторинга показателей сердечного ритма и минутных вариаций уровня стрессорных гормонов в крови для определения возможных путей гормональной регуляции.

Резюме

Приведенные в настоящей статье результаты исследований показывают, что у здоровых людей разного возраста, находящихся в состоянии покоя, показатели сердечного ритма могут синхронизовываться с вариациями вектора индукции геомагнитного поля в диапазоне частот от 0.5 до 3.0 мГц.

Показатель *HR* и функционально связанный с ним показатель длительности интервала *QT* являются более чувствительными к колебаниям магнитного вектора, чем показатели, отражающие время прохождения возбуждения по предсердиям (длительность *PQ*) и время деполяризации желудочков (длительность *QRS*). Этот вывод в равной степени справедлив как по отношению к выборке экспериментов, проведенных на группе волонтеров, так и по отношению к циклу экспериментов, проведенных на одном и том же волонтере в течение длительного интервала времени.

Таким образом, полученные результаты можно рассматривать как экспериментальное подтверждение гипотезы, что эффект синхронизации внутренних процессов организма с колебаниями магнитного поля Земли существует и может быть зарегистрирован неинвазивными методами функциональной диагностики.

Благодарности

Авторы благодарят создателей интернет-ресурса http://forecast.izmiran.rssi.ru/BANK_mos.htm за предоставленные геофизические данные, П.М. Нагорского – за консультации при разработке алгоритма анализа результатов эксперимента, Л.В. Поскотинову – за помощь в обсуждении полученных результатов.

Работа поддержана грантом Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине».

Литература

- Владимирский Б.М., Волынский А.М. О воздействии короткопериодических колебаний (КПК) геомагнитного поля типа Pс1 на сердечно-сосудистую и нервную системы животных // Реакция биологических систем на слабые магнитные поля. М.: Наука, 1971. С. 131–133.
- Владимирский Б.М., Темуриянц Н.А. Влияние солнечной активности на биосферу-ноосферу / Под ред. Л.А. Блюменфельда, Н.Н. Моисеева. М.: Изд-во МИЭПУ, 2000. 374 с.
- Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Бреус Т.К., Рапопорт С.И. Сезонные вариации инфаркта миокарда и возможное биотропное влияние короткопериодных пульсаций геомагнитного поля на сердечно-сосудистую систему // Биофизика. 2007. Т. 52, № 6. С. 1122–1119.
- Колесник А.Г., Бородин А.С., Колесник С.А., Побаченко С.В. Резонансный механизм солнечно-земных связей // Изв. вузов. Физика. 2003. № 8. С. 23–30.
- Колесник А.Г., Колесник С.А., Побаченко С.В. Электромагнитная экология. Томск: ТМЛ-Пресс, 2009. 336 с.
- Котельников С.А., Ноздрачев А.Д., Одинок М.М., Шустов Е.Б., Коваленко И.Ю., Давыденко В.Ю. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах // Физиология человека. 2002. Т. 28, № 1. С. 130–143.
- Мурашко В.В., Струтынский А.В. Электрокардиография. М.: Медицина, 1987. 256 с.

- Побаченко С.В., Колесник А.Г., Бородин А.С., Калюжин В.В. Сопряженность параметров энцефалограммы мозга человека и электромагнитных полей шумановского резонатора по данным мониторинговых исследований // *Биофизика*. 2006. Т. 51, № 3. С. 534–538.
- Рапопорт С.И., Бреус Т.К. Мелатонин как один из важнейших факторов воздействия слабых естественных электромагнитных полей на больных гипертонической болезнью и ишемической болезнью сердца. Ч. 1, 2 // *Клиническая медицина*. 2011. № 3. С. 9–14; № 4. С. 4–7.
- Холодов Ю.А. Мозг в электромагнитных полях. М.: Наука, 1982. 120 с.
- Cherry N. Schumann resonances: A plausible biophysical mechanism for the human health effects of solar/geomagnetic activity // *Natural Hazards*. 2002. V. 26. P. 279–331.

Сведения об авторах

- ЗЕНЧЕНКО Татьяна Александровна** – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН. 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, д. 3; старший научный сотрудник, Институт космических исследований РАН. 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32. E-mail: zench@mail.ru
- МЕДВЕДЕВА Анна Александровна** – кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН. 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, д. 3. E-mail: gepa-ra@yandex.ru
- ХОРСЕВА Наталия Игоревна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН. 119991, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4. Тел.: +7 (495) 939-71-38. E-mail: sheridan1957@mail.ru
- БРЕУС Тамара Константиновна** – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, Институт космических исследований РАН. 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32. Тел.: +7 (916) 821-27-44. E-mail: breus36@mail.ru

SYNCHRONIZATION OF HEART RATE INDICES OF HUMAN AND GEOMAGNETIC FIELD VARIATIONS IN THE FREQUENCY RANGE OF 0.5–3.0 mHz

T.A. Zenchenko^{1,2}, A.A. Medvedeva¹, N.I. Khorseva^{2,3}, T.K. Breus²

¹ Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Moscow Region, Russia

² Institute of Space Research, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³ Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. 57 experiments were conducted in order to monitor minute indicators of heart beat at rest between 38 healthy individuals (9 men and 29 women) aged from 18 to 58 years. The duration of each period of observation ranged from 60 to 200 minutes. Heart rate and the average duration of one minute cardiac sections, reflecting the passage of electrical excitation over different parts of the myocardium have been measured. Comparison of dynamics minute values of these physiological parameters with variations of the X- and Z-components of the geomagnetic field has shown that two thirds of experiments revealed synchronization of oscillations in heart rate and variations of the components of the geomagnetic field. It was revealed the matching of the values of the observed oscillation periods in range 4–30 minutes as well as the approximate timing of their appearance and disappearance.

Keywords: geomagnetic field, variations in heart rate.