

СОПРЯЖЕННОСТЬ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА С ВАРИАЦИЯМИ ИНФРАЗВУКОВОГО ФОНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Работа посвящена экспериментальным исследованиям влияния низкочастотных акустических полей на сердечно-сосудистую систему человека. На основе сопряженных круглосуточных измерений существенных параметров инфразвукового фона окружающей среды и ЭКГ человека установлена сопряженность изменения кардиоинтервалов человека и амплитуды инфразвуковых колебаний давления в диапазоне частот 0,01–1,6 Гц.

Перечень факторов внешней среды, имеющих потенциальную возможность воздействия на биологические системы, постоянно расширяется с развитием технического и методического сопровождения научных исследований. Предположение о том, что вариации уровня акустических шумов атмосферы очень низкой частоты являются экологически значимым фактором окружающей среды, было впервые высказано Б.М. Владимирским [1]. В последующих работах Владимирский относит инфразвуковые колебания к основным ритмозадающим факторам окружающей среды [2]. Автор также предложил гипотезу о передаче эффектов воздействия солнечной активности на биосферу посредством генерации инфразвука низкочастотными магнитными возмущениями.

Известно, что инфразвуковые колебания давления с интенсивностью, значительно превышающей уровень естественного инфразвукового фона, вызывают выраженные психосоматические реакции у человека [1]. При невысокой интенсивности инфразвукового воздействия у человека может развиваться комплекс неприятных ощущений: головокружение, тошнота, затрудненное дыхание, боли в животе, чувство подавленности, страха. При более интенсивном воздействии инфразвуковыми волнами появляются ощущения сухости во рту и царапания в глотке, кашель, удушье, беспокойство, повышенная раздражительность. Длительное воздействие инфразвуком интенсивностью более 150 дБ может вызвать миокардиальный синдром, что проявляется приглушенностью сердечных тонов, урежением частоты и снижением силы сердечных сокращений. Как правило, эти симптомы возникают при действии инфразвуковых колебаний с уровнями звукового давления более 150 дБ, частотой 1–7 Гц и длительностью до 10 мин. Эксперименты над животными позволили установить физиологические изменения в миокарде и коре головного мозга при действии инфразвука с частотой 8 и 16 Гц с уровнем звукового давления от 120 до 140 дБ [3, 4]. Данные исследования показали, что при воздействии инфразвука с указанными параметрами в миокарде экспериментальных животных происходят структурно-функциональные изменения. В слуховой зоне коры головного мозга имеют место как сосудистые изменения, так и морфологические изменения в нейронах. Причем указывается, что данные изменения имеют характерную зависимость от продолжительности воздействия инфразвуком. При длительном действии инфразвуком в организме становятся более ярко выражены изменения на клеточном уровне.

К сожалению, до настоящего времени нет четких экспериментальных доказательств биологической зна-

чимости инфразвуковых колебаний с амплитудами, не превышающими уровень естественных шумов. Очевидно, что биологическую эффективность инфразвуковых колебаний с малыми амплитудами следует ожидать при длительном воздействии на живые системы, о чем свидетельствуют некоторые прямые и косвенные данные [5]. В связи с этим представляет интерес оценка сопряженности фоновых инфразвуковых колебаний давления и вариаций средней продолжительности RR-интервалов ЭКГ человека на суточном интервале измерений.

Измерения фоновых инфразвуковых колебаний давления проводились инфразвукометрическим комплексом, разработанным и созданным авторами работы [6]. В качестве анализируемого параметра использовалась амплитуда в полосе частот от 0,01 до 1,6 Гц. Продолжительность RR-интервалов человека оценивалась по данным суточного холтеровского мониторинга. В исследовании принимали участие 12 испытуемых в возрасте от 23 до 45 лет без нозологических нарушений сердечно-сосудистой системы. При проведении экспериментов все операторы находились в состоянии обычной активности с ограничением на значительную физическую нагрузку. Регистрация параметров фоновых акустических колебаний и средней продолжительности кардиоинтервалов проводилась в режиме временной синхронизации. Параметры регистрировались круглосуточно в течение 5 мин с 15-минутным интервалом между наблюдениями.

В качестве сопоставляемых параметров использовались временные реализации усредненных за 5-минутные интервалы наблюдений амплитуды фоновых инфразвуковых колебаний давления и продолжительность RR-интервалов. Мера сопряженности исследуемых параметров оценивалась по виду кросскорреляционных функций. Это позволило получить значения коэффициентов корреляции и временной задержки между изучаемыми сигналами. Значения доверительных границ для коэффициентов корреляции Пирсона вычислялись исходя из гипотезы о том, что изучаемые процессы независимы и их автокорреляционные функции при лаге больше 10 равны нулю [7]. Вероятность ошибки при определении доверительных интервалов составляла 5% ($p < 0,05$).

Анализ временных реализаций показал существование высокой степени сопряженности суточных вариаций амплитуды фоновых инфразвуковых колебаний давления и продолжительности RR-интервалов. В качестве иллюстрации на рис. 1 представлена синхронная запись исследуемых переменных (оператор Б.А.).

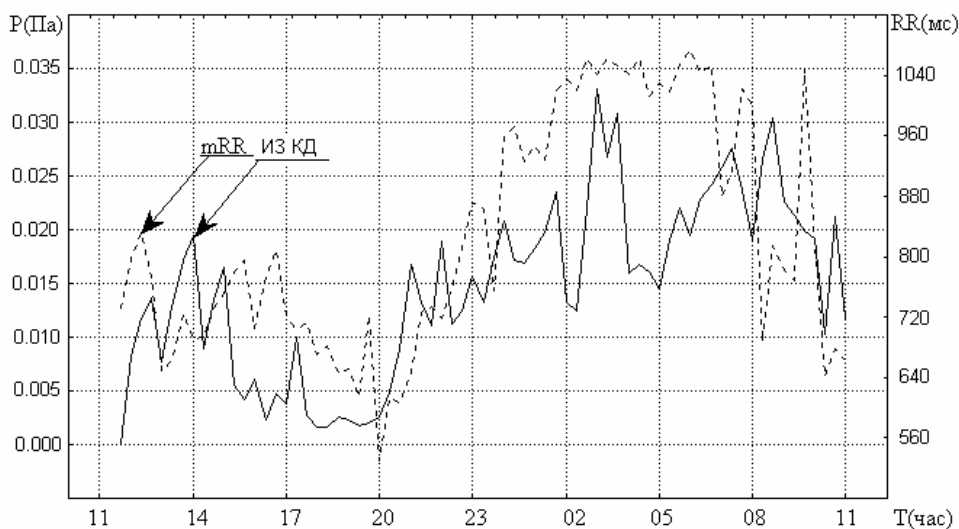


Рис. 1. Суточный ход инфразвуковых колебаний давления (ИЗ КД) и длительности RR-интервалов ЭКГ человека (mRR).
Ось абсцисс – время измерений в часах. Правая ось ординат – величины RR-интервалов, мс.
Левая ось ординат – величины инфразвуковых колебаний давления, Па

Учитывая, что рассматриваемые временные ряды представляют сумму суточного тренда и случайных вариаций, из исходных реализаций на основе метода частотной фильтрации были выделены околосуточная (циркадианная) составляющая и остатки (флуктуации с периодом от 6 ч до 20 мин). После филь-

рации исходных сигналов была проведена оценка сопряженности фоновых инфразвуковых колебаний давления и вариаций средней продолжительности RR-интервалов ЭКГ человека отдельно для циркадианных составляющих (рис. 2, а) и для остатков (рис. 2, б).

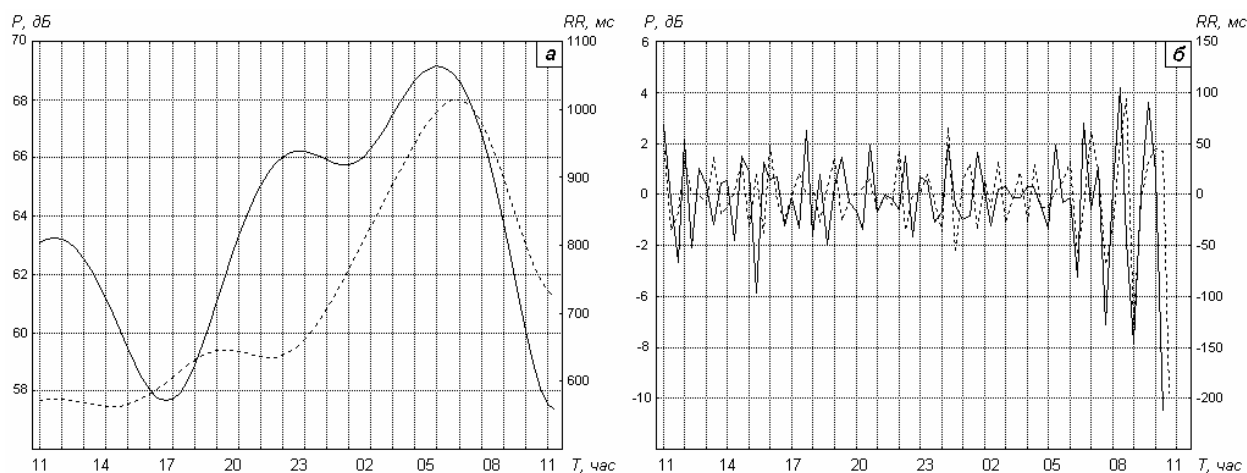


Рис. 2. Типичные циркадианные составляющие (а) и остатки (б) флуктуаций давления (сплошная линия) и длительности RR-интервалов (пунктирная линия). Ось абсцисс – время измерений, ч. Правая ось ординат – величины RR-интервалов, мс. Левая ось ординат – величины инфразвуковых колебаний давления, дБ

Корреляционный анализ показал, что мера сопряженности суточных составляющих исследуемых процессов изменяется от 0,3 до 0,7. При этом величина временной задержки в среднем была равна нулю. В то же время оценки корреляции для остатков были значительно ниже при доминирующей величине коэффициента кросскорреляции, равного $-0,3$. Задержка реакции сердечно-сосудистой системы на вариации фоновых инфразвуковых колебаний варьировала от 0 до 4 ч. Отрицательная взаимосвязь исследуемых параметров в данном случае только декларируется, поскольку для ее аргументации необходимо проведение дальнейших экспериментальных работ.

Разницу в степени взаимосвязи можно объяснить различными уровнями флуктуаций для трендовых составляющих и для остатков. Флуктуации трендовых составляющих инфразвукового фона составляют десятки децибел, в то время как вариации уровня остатков составляют единицы децибел. Как видно, степень сопряженности амплитуды инфразвуковых колебаний давления и RR-интервалов зависит от уровня инфразвукового фона. Сильная положительная корреляция суточных вариаций RR-интервалов и амплитуды фоновых инфразвуковых колебаний свидетельствует в пользу предположения о ритмозадающей природе фонового инфразвука (таблица).

**Параметры кросскорреляционных функций для вариаций RR-интервалов ЭКГ
и низкочастотных микропульсаций атмосферного давления**

Параметр кросскорреляционной функции	Значение параметра кросскорреляционной функции	Составляющая реализации
Коэффициент кросскорреляции	0,3–0,7 –0,23 – (–0,5)	Циркадианная Остатки
Временная задержка, мин	0 0–240	Циркадианная Остатки

К числу потенциально возможных экзогенных синхронизаторов биологических ритмов, кроме фоновых инфразвуковых колебаний, относятся метеорологические переменные, освещенность, ионизация, низкочастотные электромагнитные поля и др. [2]. Б.М. Владимирский предложил гипотезу о передаче эффектов воздействия солнечной активности на биосферу посредством генерации инфразвука [1] низкочастотными магнитными возмущениями. Таким образом, определенный интерес представляет сравнение результатов работ, связанных с исследованиями реакций физиологических функций на динамику низкочастотного электромагнитного поля окружающей среды, с полученными выводами относительно синхронизирующей роли фонового инфразвука. Анализ литературных данных позволяет утверждать о наличии влияния низкочастотных электромагнитных колебаний на функциональное состояние организма человека. Так, в работах [8, 9] показано влияние суточных флуктуаций низкочастотных магнитных полей на циркадианную динамику RR-интервалов электрокардиограммы человека. При этом величина корреляционной связи данных параметров варьирует от 0,19 до 0,7 в зависимости от выборки испытуемых и рассматриваемого параметра электромагнитного фона. Во всех работах в качестве характеристик электромагнитного фона использовались ортогональные компоненты вектора низкочастотного магнитного поля.

Временная задержка воздействия данного физического агента также зависит от параметров выборки и

характеристик низкочастотного магнитного поля и колеблется в диапазоне от 25 до 126 мин. Следует отметить, что все эксперименты проводились авторами в режиме синхронизированного во времени параллельного мониторинга характеристик состояния сердечно-сосудистой системы и низкочастотного магнитного поля [8, 9]. Схожесть режимов проведения экспериментальных работ и параметров, используемых для оценки состояния сердечно-сосудистой системы, позволяет сравнивать оценки меры сопряженности, полученные для фоновых инфразвуковых колебаний и низкочастотных магнитных полей.

Сравнительный анализ коэффициентов корреляционной связи и задержек проявления эффектов воздействия акустических и магнитных колебаний на реакции состояния сердечно-сосудистой системы дает основание предполагать возможную взаимосвязь фоновых инфразвуковых колебаний и низкочастотных магнитных полей. Это также предполагает потенциальную возможность взаимодействия этих факторов при передаче эффектов солнечной активности на биосферу. Не выделяя данные факторы из совокупности параметров окружающей среды, влияющих на биологические системы, следует отметить многообразие существующих между ними взаимосвязей и, следовательно, комплексность воздействия на живые организмы. В то же время нельзя отвергать независимость проявления эффектов воздействия фоновых инфразвуковых колебаний и низкочастотных магнитных полей на биологические объекты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимирский Б.М. Атмосферный инфразвук как возможный фактор, передающий влияние солнечной активности на биосферу // Известия Крымской астрофизической обсерватории. 1974. Т. 42. С. 190–194.
2. Владимирский Б.М., Сидякин В.Г., Темуриянц Н.А. и др. Космос и биологические ритмы. Симферополь, 1995. 210 с.
3. Нехорошев А.С., Глинчиков В.В. Морфофункциональные изменения в миокарде при действии инфразвука // Гигиена и санитария. 1991. № 12. С. 56–58.
4. Нехорошев А.С., Глинчиков В.В. Изменения в слуховой зоне коры головного мозга при действии инфразвука // Гигиена и санитария. 1992. № 7/8. С. 56–58.
5. Сидякин В.Г., Темуриянц Н.А., Макеев В.Б., Владимирский Б.М. Космическая экология. Киев: Наукова думка, 1985.
6. Соловьев А.В., Ручкин В.В., Падусенко В.Н. Комплекс инфразвукового мониторинга окружающей среды // Проблемы региональной экологии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. Вып. 6. С. 93–94.
7. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.
8. Колесник А.Г. Электромагнитный фон и его роль в проблеме охраны окружающей среды и экологии человека // Известия вузов. Физика. 1998. № 8. С. 102–112.
9. Бородин А.С., Колесник А.Г. Медико-биологические аспекты воздействия электромагнитного фона в диапазоне крайне низких частот // Региональный мониторинг атмосферы. Ч. 5: Электромагнитный фон Сибири / Отв. ред. М.В. Кабанов. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2001. С. 215–262.

Статья представлена кафедрой космической физики и экологии радиофизического факультета Томского государственного университета, поступила в научную редакцию «Физика» 11 декабря 2006 г., принята к печати 18 декабря 2006 г.