

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

Исследование влияния циркадного ритма на физиологические
параметры организма

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 4081 группы
направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологий»
профиль подготовки «Методы и устройства обработки биосигналов»
институт физики
Карпова Елизавета Александровна

Научный руководитель:
Доцент кафедры
динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
к.ф.-м.н., доцент

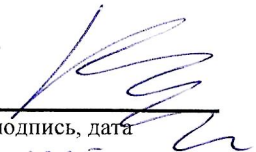


подпись, дата
20.06.2025

"Отлично"

Е.И. Боровкова

Зав. кафедрой
динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
д.ф.-м.н., профессор



подпись, дата
20.06.2025

А.С. Караваев

Саратов 2025

Введение. Исследование влияния циркадного ритма на физиологические параметры человека является особенно актуальным в условиях современного общества, где нарушения сна и биоритмов становятся все более распространенными из-за стресса, изменения образа жизни и воздействия технологий. Понимание и практическое обоснование механизмов, лежащих в основе циркадных ритмов, может помочь в разработке эффективных стратегий для улучшения качества сна и общего состояния здоровья, что особенно важно для профилактики различных заболеваний и повышения качества жизни. Таким образом, данное исследование не только углубляет научные знания в данной области, но и имеет практическую значимость для здоровья населения.

Целью данной работы является проведение количественной оценки параметров распределений мощности низкочастотных и высокочастотных колебаний последовательности RR-интервалов, частоты сердечных сокращений, среднего артериального давления у здорового добровольца в течение 24 часов.

Основные задачи исследования:

1. Провести обзор исследований 24-часового мониторингирования LF- и HF-колебаний вариабельности ритма сердца.
2. Для 1 здорового добровольца провести регистрацию сигнала электрокардиограммы и артериального давления в течении суток.
3. Выделить из электрокардиограммы последовательность RR-интервалов.
4. Оценить по последовательности RR-интервалов частоту сердечных сокращений, мощность низкочастотных и высокочастотных колебаний последовательности RR-интервалов, мгновенные частоты в низкочастотном и высокочастотном диапазонах.
5. Оценить квартили, минимальное и максимальное значение распределений исследуемых физиологических параметров в течение 24 часов.

6. Сопоставить физиологические параметры в периоды бодрствования и сна.

Объектом исследования является циркадный ритм, который представляет собой биологический механизм, регулирующий циклы активности и отдыха в течение 24-часового периода. Предметом исследования выступают физиологические параметры человека, такие как качество сна, сердечно-сосудистая деятельность, которые подвержены влиянию циркадных ритмов. В ходе работы для визуализации и последующего анализа сигналов на языке Python было написано программное обеспечение.

Работа содержит введение, четыре раздела и заключение. В первом разделе данной работы будут рассмотрены теоретические основы циркадного ритма, включая его механизмы, функции и влияние на организм. Мы проанализируем, как циркадные ритмы формируются и регулируются, а также какие факторы могут влиять на их стабильность. Третий, четвертый и пятый разделы будут посвящены исследованию влияния циркадного ритма на физиологические процессы в организме. Используя различные методы обработки данных, будет проанализировано, как циркадные ритмы влияют на сердечно-сосудистую систему и другие важные физиологические функции, на практическом исследовании биосигналов.

Основное содержание работы. Циркадные ритмы представляют собой биологические процессы, которые происходят в организме человека и с регулярностью, приближающейся к 24 часам. Для исследования влияния циркадного ритма на физиологические параметры организма стандартная процедура электрокардиографии (ЭКГ) не предоставляет достаточно информации, так как позволяет оценить работу только в короткий промежуток времени. Однако существует метод холтеровского мониторирования, который предполагает длительную непрерывную запись ЭКГ пациента, находившегося в стандартных условиях повседневной жизни.

Существует ряд работ, в которых особое внимание уделено исследованию низкочастотных (LF) и высокочастотных (HF) колебаний в течение 24 часов для решения задач диагностики заболеваний сердечно-сосудистой и дыхательной систем.

В рамках данной работы было исследовано влияние циркадного ритма на физиологические параметры добровольца, возраста 19 лет, без каких-либо признаков патологии и заболеваний сердечно-сосудистой системы. Для получения данных исследования выполнялась регистрация электрокардиограммы (ЭКГ). Запись проводилась в течении 24 часов, что примерно соответствует одному периоду циркадного ритма человека. Испытуемый во время фиксации сигналов придерживался привычного режима дня, фиксируя основные моменты в дневник наблюдения. В качестве прибора для регистрации значений был использован 4-канальный цифровой электрокардиограф с частотой дискретизации 250 Гц.

Сигнал ЭКГ регистрировался в I стандартном отведении по Эйнтховену. На рисунке 1 представлен фрагменты сигнала ЭКГ в течении 10 секунд записи.

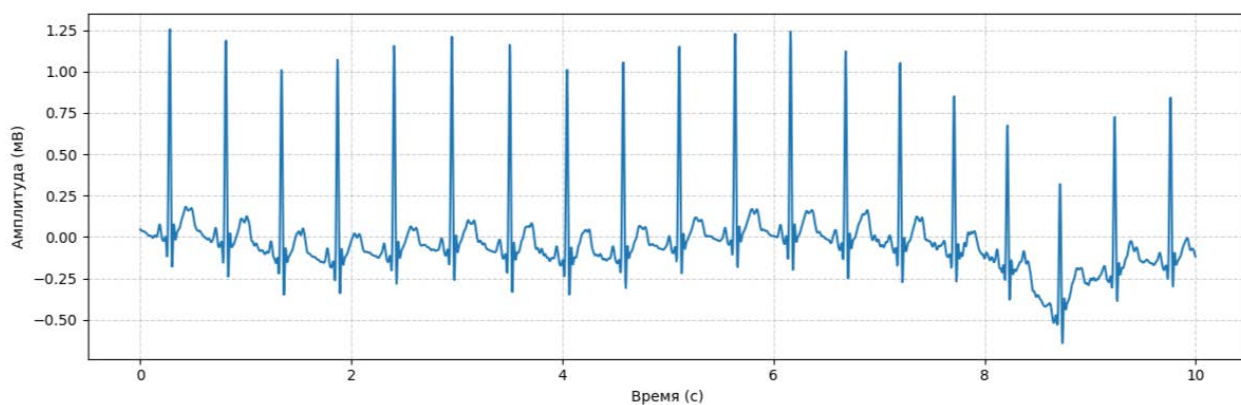


Рисунок 1 – Фрагмент сигнала ЭКГ

Для дальнейшей обработки данных необходимо было построить кардиоинтервалограмму. Откладывая по оси ординат ряд временных интервалов между R пиками, а по оси абсцисс время появления R-R пиков, мы получили кардиоинтервалограмму, которая представлена на рисунке 2.

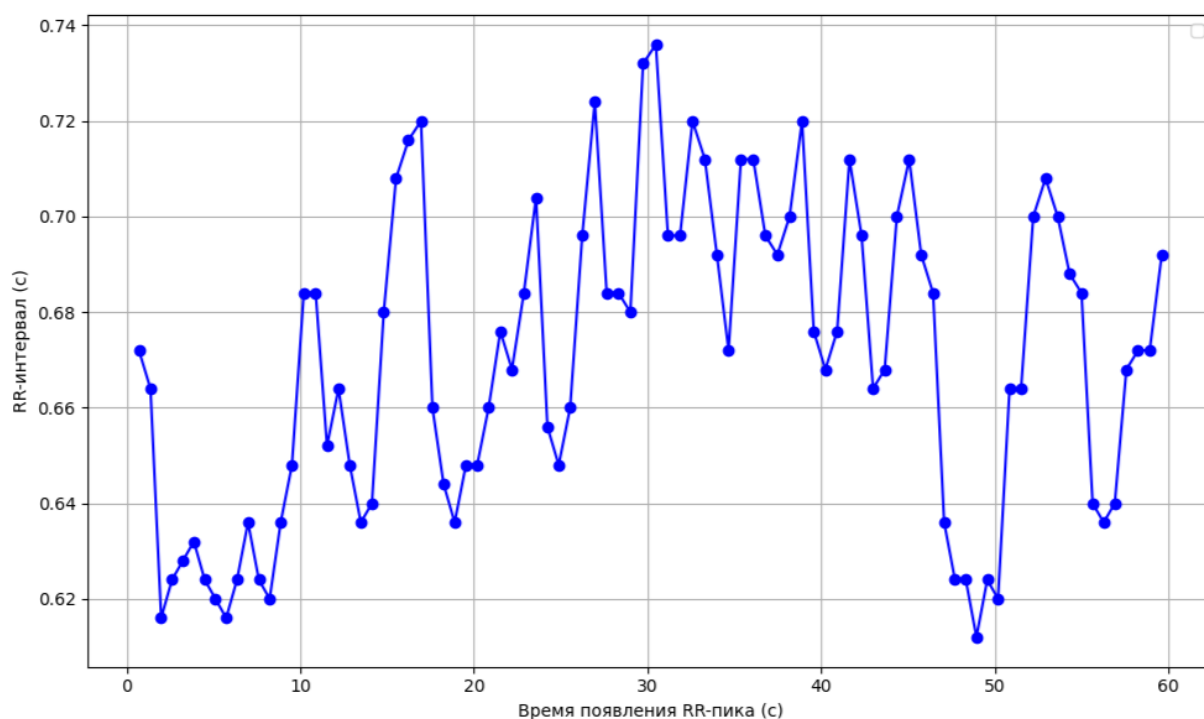


Рисунок 2 – Кардиоинтервалограмма

С использованием метода исследования сигналов как спектральный анализ, основанный на преобразовании Фурье, сигнал кардиоинтервалограммы, полученной из ЭКГ, был разложен на его частотные составляющие, что при дальнейшем исследовании ведет к получению ценной информации о состоянии сердечно-сосудистой системы и автономной нервной регуляции. Для визуализации и последующего анализа на языке Python было написано программное обеспечение. С его помощью были построены спектры сигналов. Пример спектра представлен на рисунке 3.

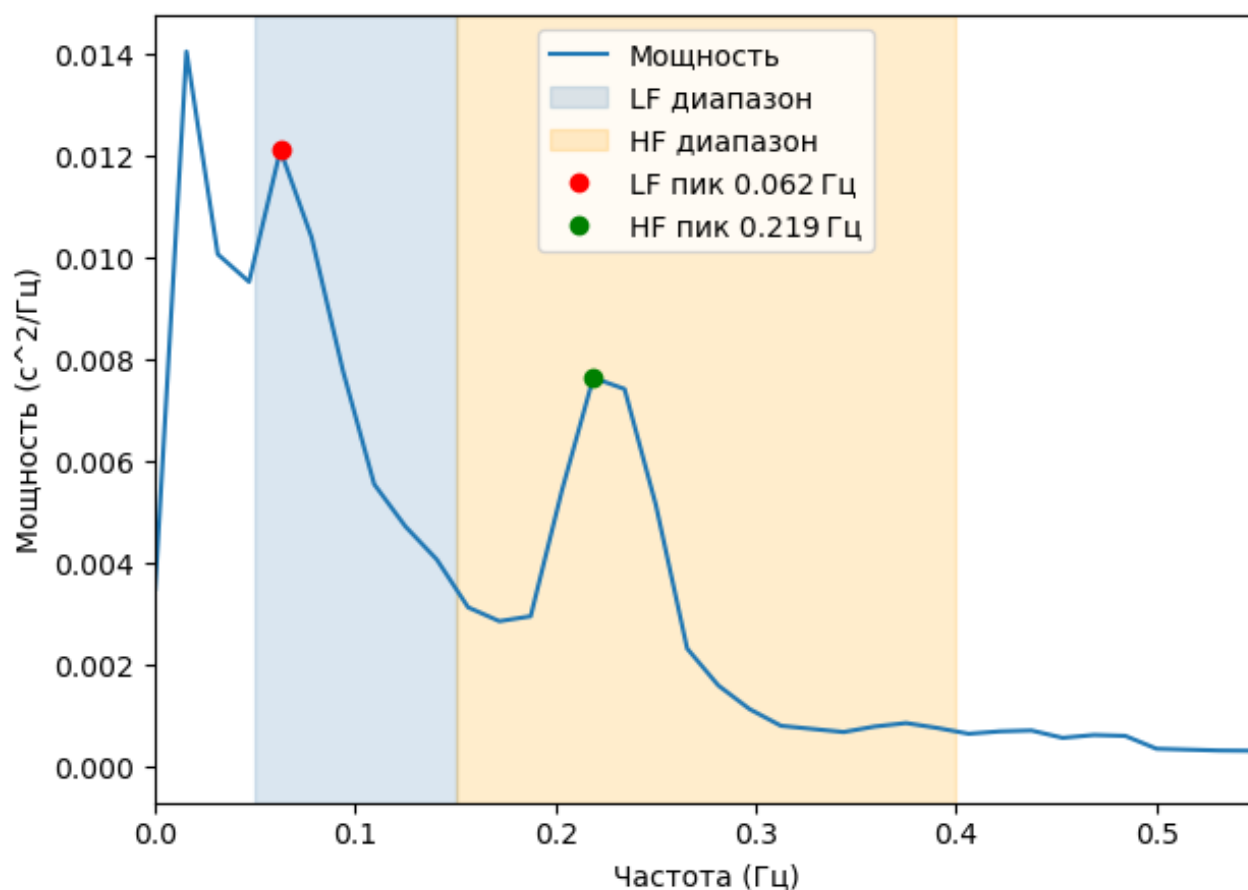


Рисунок 3 – Спектр мощности сигнала, полученный из кардиоинтервалограммы

На основе ранее полученных спектров методом выделения пиков мощности для каждого диапазона частот LF и HF, а также вычислении площади под кривой в каждой интересующей нас полосе методом интегрирования по формулам 1 и 2, мы получили изменения значения абсолютных мощностей LF и HF волн со временем.

$$LF_{abs} = \int_{0.05}^{0.15} PSD(f)df \quad (1)$$

$$HF_{abs} = \int_{0.15}^{0.4} PSD(f)df \quad (2)$$

Так как в данной работе необходимо количественно оценить важность каждого компонента в виде процента для анализа циркадного ритма, то следует перейти от абсолютной мощности к относительной. При данном преобразовании значения относительных мощностей LF волн и HF волн вычисляются по формулам 3 и 4 соответственно, где P_{sum} – сумма абсолютных мощностей двух диапазонов частот.

$$LF_{nu} = \frac{LF_{abs}}{P_{sum}} \times 100\% \quad (3)$$

$$HF_{nu} = \frac{HF_{abs}}{P_{sum}} \times 100\% \quad (4)$$

Таким образом, является возможным построить график зависимости процентного соотношения волн LF и HF диапазона в пределах всего времени исследования добровольца.

В процессе эксперимента у добровольца регистрировалась частота сердечных сокращений (ЧСС), значения систолического артериального давления (САД) и диастолического артериального давления (ДАД) каждые 30 минут.

Вычисляя среднее артериальное давление (АД) и опираясь на данные таблицы со значениями ЧСС, мы построили точечный график, представленный на рисунке 4, отражающий изменение ЧСС и среднего АД в течении одного периода циркадного ритма (24 часов).

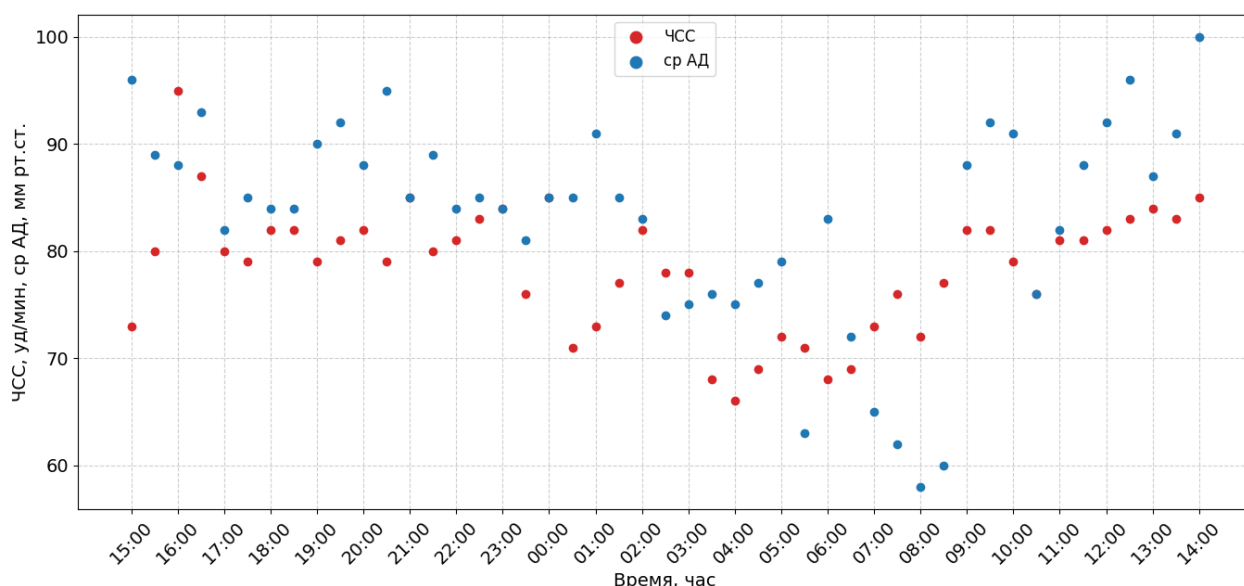


Рисунок 4 – Точечный график, отражающий изменение ЧСС и среднего АД в течении одного периода циркадного ритма

Методом спектрального анализа мы построили график изменения относительных мощности волн LF и HF диапазона, представленный на рисунке 5, в течении всего периода измерения.

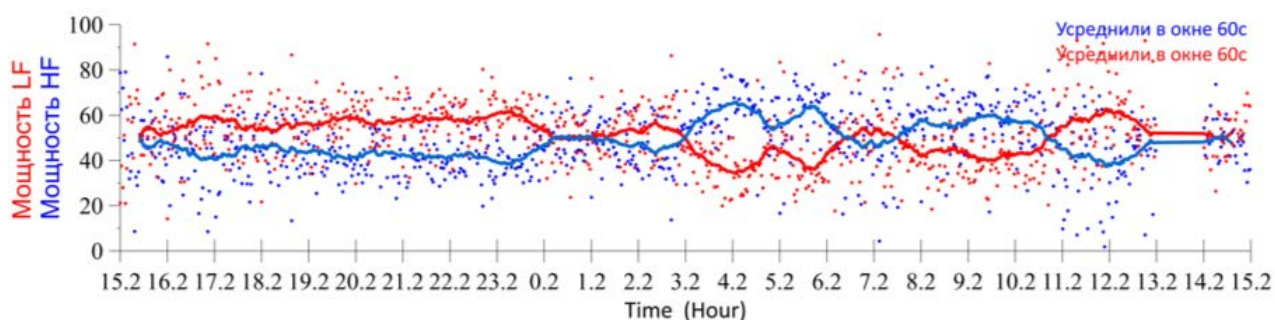


Рисунок 5 – Изменения мощности волн низкой частоты (LF) и волн высокой частоты (HF)

Основным источником HF-колебаний является дыхательная модуляция ЧСС. Частота HF волн напрямую коррелирует с частотой дыхания, то есть

при учащении дыхания частота HF волн увеличивается. На рисунке 6 показано изменение максимальных характерных частот LF- и HF-колебаний.

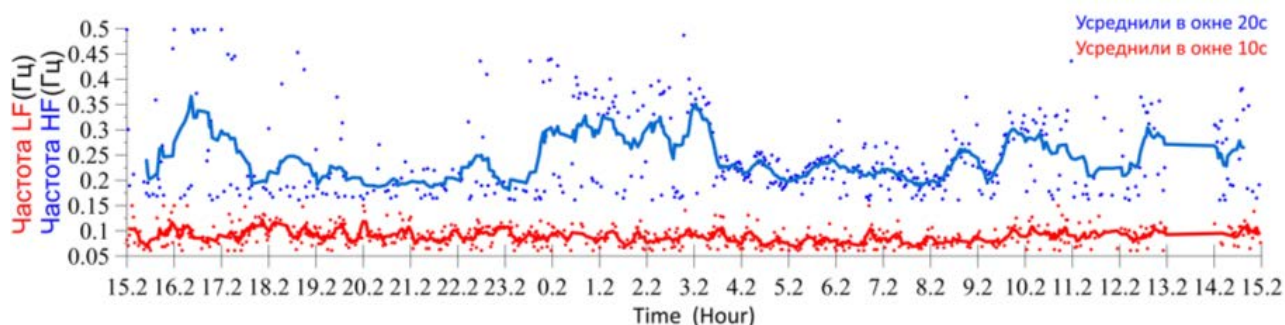


Рисунок 6 – Изменение максимальных характерных частот LF- и HF-колебаний

Рассмотрим изменение ЧСС, среднего АД, мощность низкочастотных и высокочастотных колебаний последовательности RR-интервалов, мгновенные частоты в низкочастотном и высокочастотном диапазонах, разделяя значения на периоды сна и бодрствования. В таблице 1 приведены результаты минимального, максимального значения, рассчитанная величина медианы со значением 1 и 3 квартилей таких параметров как ЧСС, среднего АД, относительной мощности и частоты LF- и HF-колебаний для фазы бодрствования.

Таблица 1 – Параметры во временной и спектральной области в период бодрствования

Показатель	Min	Max	Медиана	(Q1;Q3)
ЧСС (уд/мин)	71	95	81	(79;83)
Среднее АД (мм рт.ст.)	61	100	88	(84;91)
LF, %	13.62	99.44	55.56	(48.05;63.21)
HF, %	0.56	86.38	44.44	(36.79;51.95)
f LF, Гц	0.05	0.15	0.08	(0.06;0.10)
f HF, Гц	0.15	0.50	0.16	(0.15;0.19)

Аналогичные результаты расчета данных для тех же показателей в период фазы сна представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры ВСР во временной и спектральной области в период сна

Показатель	Min	Max	Медиана	(Q1;Q3)
ЧСС (уд/мин)	66	82	72	(69;76)
Среднее АД (мм рт.ст.)	58	83	74	(63;77)
LF, %	13.74	97.33	41.85	(34.34;50.87)
HF, %	2.67	86.26	58.15	(49.13;65.66)
f LF, Гц	0.05	0.15	0.07	(0.05;0.09)
f HF, Гц	0.15	0.50	0.21	(0.17;0.25)

Рассматривая изменение значений, рассчитанных в таблицах 1 и 2, и график, изображенный на рисунке 4, можем проанализировать как циркадный ритм, а именно цикл сон-бодрствование влияет на такие параметры как ЧСС и среднее АД.

Минимальная и максимальная ЧСС в период бодрствования была зарегистрирована перед сном и в период активности добровольца соответственно. Медиана, равная 81 уд/мин, соответствует типичному уровню ЧСС при активности. 50 % значений ЧСС находятся в пределе от 79 уд/мин до 83 уд/мин. Во время бодрствования отмечается высокий уровень симпатической активности, соответствующий дневной фазе циркадного ритма. Во время сна наблюдается значительное снижение ЧСС. Наблюдается усиление влияния парасимпатической системы.

Среднее АД в фазе бодрствования достигает максимального значения в период физической активности. Днем типичное среднее АД повышено (88(84;91) мм рт. ст.), что соответствует активному периоду жизни и доминированию симпатической системы. Ночью среднее АД значительно снижено (74(63;77) мм рт. ст.) по сравнению с фазой бодрствования.

Во время бодрствования наблюдается выраженная симпатическая активность, так как мощность LF-колебаний часто превышает мощность HF-колебаний. Полученные данные демонстрируют четкий циркадный ритм регуляции симпатической системы через LF-волны. Днем относительная мощность низкочастотных волн выше (55.56(48.05;63.21) %), чем в период фазы сна (41.85(34.34;50.87) %).

Полученные данные указывают на четкий циркадный ритм регуляции парасимпатической системы через HF-волны. В период сна компонента HF повышена (58.15(49.13;65.66) %), то есть происходит усиление парасимпатической активности, в то время как в период бодрствования значение HF (%) снижено (44.44(36.79;51.95) %). Стоит отметить высокую вариабельность LF- и HF-колебаний как днём, так и ночью.

Регуляция максимальных характерных частот LF- и HF-колебаний в периоды сна и бодрствования подчиняется циркадному ритму. Согласно результатам, представленным в таблицах 1 и 2, а также циркадному профилю на рисунке 6 увеличение максимальных характерных частот HF-колебаний приходится на период фазы бодрствования, а именно во время физической

активности добровольца. В период сна у добровольца наблюдается снижение максимальных характерных частот HF-колебаний, что свидетельствует о снижении активности парасимпатической системы.

Заключение. В ходе исследования был проведен эксперимент по 24-часовому мониторингованию ЭКГ у здорового добровольца с последующей оценкой параметров variability ритма сердца.

Выполнена количественная оценка распределения с вычислением медианы, квартилей 1 и 3 для следующих физиологических параметров в течении 24 часов: ЧСС, среднее АД, относительную мощность LF- и HF-колебаний, максимальные характерные частоты спектров в LF- и HF-диапазонах.

Проведено сравнение физиологических параметров в периоды бодрствования и сна, которое показало выраженные различия в активности автономной нервной системы. В ходе анализа variability сердечного ритма было установлено, что во время сна происходит снижение частоты сердечных сокращений (ЧСС) и среднего артериального давления (АД). Одновременно отмечается увеличение мощности высокочастотных (HF) колебаний, которые преимущественно отражают влияние парасимпатической нервной системы. В то же время наблюдается уменьшение мощности низкочастотных (LF) колебаний, что свидетельствует о снижении симпатической модуляции в условиях сна. Кроме того, выявлено увеличение максимальных характерных частот в HF-диапазоне, что связано с замедлением дыхательного ритма и его взаимодействием с сердечной активностью в период ночного покоя.

Карпов Е.А. 20.06.2025