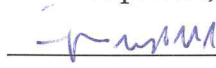


Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Радиофизический факультет
Кафедра космической физики и экологии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

к.ф.-м.н., доцент

 М.Л. Громов

« 09 » июня 2023 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

**ПРИЧИННЫЙ АНАЛИЗ КАРДИОХРОНОТРОПНЫХ РЕАКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА ПРИ
ЕГО СВОБОДНОЙ АКТИВНОСТИ**

по основной образовательной программе подготовки бакалавров

Направление подготовки 03.03.03 – Радиофизика

Пахнюк Никита Васильевич

Руководитель ВКР

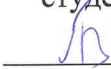
к.т.н., с.н.с.

 А.С. Бородин

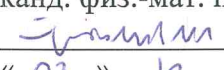
« 06 » июня 2023 г.

Автор работы

студент группы № 071907

 Н.В. Пахнюк

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Радиофизический факультет
Кафедра экологии и космической физики

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП
канд. физ.-мат. наук, доцент
 М.И. Громов
« 03 » 10 2022 г.

ЗАДАНИЕ

по выполнению выпускной квалификационной работы обучающемуся

Пахнюку Никите Васильевичу

(Ф.И.О. обучающегося)

по направлению подготовки 03.03.03 Радиофизика, направленность (профиль)
«Радиофизика, электроника и информационные системы».

1 Тема выпускной квалификационной работы: Причинный анализ кардиохронотропных реакций человека при его свободной активности.

2 Срок сдачи обучающимся выполненной выпускной квалификационной работы:

а) на кафедру – 06.06.2023

б) в ГЭК – 15.06.2023

3 Исходные данные к работе:

Объект исследования – Вариации периодов сердечных сокращений при свободной активности человека.

Предмет исследования – Вариации частоты сердечных сокращений при свободной активности человека.

Цель исследования – Идентификация причин и статистическая стратификация кардиохронотропных реакций человека по вариациям периода сердечных сокращений.

Задачи:

1. Оценка корректности использования фитнес браслетов в Mi Band в научных исследованиях;
2. Формирование базы данных на основе специализированных программ согласованного структурирования первичных показателей изменчивости периодов сердечных сокращений, двигательной активности и циклов активности – покоя;
3. Анализ и описание особенностей по разномасштабной временной динамике частоты сердечных сокращений, имеющей биоритмический характер, за весь период наблюдений;
4. Обобщение полученных результатов и оформление проделанной работы.

Методы исследования:

Операторное интерактивное управление автоматизированным сбором эмпирических данных, предварительная обработка первичных данных на основе авторских программ и итоговая – с использованием стандартных методов описательной статистики, временного, спектрального и факторного анализа.

Организация или отрасль, по тематике которой выполняется работа

Национальный исследовательский Томский государственный университет

4 Краткое научное содержание работы:

Работа направлена на выявление особенностей эндогенных кардиохронотропных реакций человека при его свободной активности по временным рядам данных длительного синхронного и непрерывного мониторинга частоты сердечных сокращений волонтеров.

Руководитель выпускной квалификационной работы
доцент, кафедра КФиЭ РФФ ТГУ

(должность, место работы)



(подпись)

/ А.С. Бородин

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению
студент, РФФ ТГУ

(должность, место работы)



(подпись)

/ Н.В. Пахнюк

(И.О. Фамилия)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа 44 с., 34 рис., 2 табл., 18 источников.

СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТАЯ СИСТЕМА ЧЕЛОВЕКА, ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММА, ХОЛТЕРОВСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ, ОЦЕНКА ВАРИАБИЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНЫХ РИТМОВ, БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ, СТАДИИ СНА, БАЗОВЫЙ ЦИКЛ ПОКОЯ АКТИВНОСТИ.

В данной работе описана теоретическая и практическая работа, связанная с оценкой влияния внутренних факторов на сердечно сосудистую систему человека.

Целью данной работы является проведение причинного анализа и статистической стратификации кардиохронотропных реакций человека.

Основные этапы работы:

- а) аналитический обзор научной литературы;
- б) формирование базы данных;
- в) обработка и интерпретация полученных данных
- г) оформление отчета по практике и подготовка материалов для защиты;

Словарь сокращений

ЭКГ – Электрокардиограмма.

ССС – Сердечно сосудистая система.

ЧСС – Частота сердечных сокращений.

АД – Артериальное давление

БДГ – Быстрое движение глаз

САД – Систолическое артериальное давление

ДАД – Диастолическое артериальное давление

Оглавление

Введение	7
1.1. Строение и общая физиология сердца	8
1.2. Распространение возбуждения	9
1.3. Биоэлектрическая активность сердца	9
1.3.1. Соотношение между экг и процессом возбуждения сердца	10
1.4. Холтеровский метод измерения ЭКГ	11
1.5. Определение вариабельности ритма сердца	12
1.6. Биоритмы	15
1.6.1. Экзогенные ритмы	15
1.6.2. Эндогенные ритмы	16
1.6.3. Классификация биоритмов	16
1.7. Сон	26
1.8. Базовый цикл покоя активности	17
2. Приборы и методы исследования	18
3. Результаты проведенной работы	24
3.1. Сравнение с сертифицированным медицинским прибором Валента	24
3.2. Циркадианная динамика эндогенного происхождения	25
3.3. Индивидуальная циркадианная динамика	28
3.4. Двигательная активность	29
3.5. Перераспределение гемодинамики	32
3.6. Вариации RR интервалов во время сна	33
3.7. Выявление базового цикла активности - покоя	36
Заключение	39
Список литературы	40
Приложение 1	41
Приложение 2	43
Приложение 3	43

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена исследованию кардиохронотропных реакций человека при его свободной активности с использованием современных гаджетов. Наиболее эффективный метод исследования сердечно-сосудистой системы является длительный непрерывный мониторинг его существенных переменных. Для этих целей применяются дорогостоящие мониторы, которые к тому же создают неудобства для пациента и имеют малую продолжительность работы без подзарядки из-за чего длительность мониторинга крайне ограничена. Поэтому одна из моих первостепенных задач доказать, что современные недорогие гаджеты, оснащенные оптическим пульсометром работающим на основе фотоплетизмографии, способны вполне эффективно выявлять сердечно-сосудистые заболевания при помощи результатов, полученных при различной статистической обработке данных, например, кардиоритмографии. Этим гаджетом являются обыкновенные смарт часы, оснащенные оптическим пульсометром. Они позволяют проводить длительный непрерывный мониторинг пульса одновременно на большом количестве волонтеров, что очень важно для исследований. Сердечно сосудистая система является своеобразным монитором состояния всего организма. Любое внешнее или внутреннее воздействие так или иначе отражается на работе нашего сердца. Для того чтобы оценивать влияние на нее внешних факторов необходимо знать, как состояние всего организма и его изменения отражаются на функционировании его подсистем. Поэтому задачей проведенной работы являлось рассмотрение влияния собственных характеристик организма, а также существенных поведенческих переменных, то есть внутренних модулирующих факторов. Таких как двигательная активность, гемодинамические изменения и собственная биоритмика.

1. Параметры сердечно-сосудистой системы человека

1.1 Строение и общая физиология сердечно сосудистой системы

Кровь выполняет разнообразные функции, находясь в постоянном движении. Это движение обеспечивает сердце.

Функциональным элементом в сердце служит мышечное волокно – цепочка из клеток миокарда, заключенные в общую саркоплазматическую оболочку (основную мембрану). В зависимости от морфологических и функциональных особенностей в сердце различают два типа волокна:

1. Волокна рабочего миокарда
2. Волокна – водители ритма и проводящей системы, отвечающие за генерацию возбуждения и проведения его к клеткам рабочего миокарда

Сокращение сердца, как и скелетных мышц, запускается потенциалом действия. В миокарде возбуждения и сокращения перекрываются во времени. Потенциал действия клеток миокарда заканчивается после начала фазы расслабления, последующее сокращение возникает в результате очередного возмущения. Возбуждение, которое возникает в предсердиях и желудочках, охватывает все волокна, которые не возбуждены. Благодаря этому свойству, сердечная мышца работает по принципу «все или ничего», т.е. возбуждение в одном участке волокна, оно передается и все остальные [14].

Систола и диастола. Нагнетательная функция сердца основана на чередовании расслабления (диастолы) и сокращения (сistolы) желудочков. Во время диастолы желудочки заполняются кровью, а во время систолы они выбрасывают ее в крупные артерии (аорту и легочный ствол). У выхода из желудочков расположены клапаны, препятствующие обратному поступлению крови из артерий в сердце. Перед тем как заполнить желудочки, кровь притекает по крупным венам (полым и легочным) в предсердия. Систола предсердий предшествует систоле желудочков; таким образом, предсердия служат как бы вспомогательными насосами, способствующими заполнению желудочков. [1]

Основное назначение постоянной циркуляции крови в организме заключается в доставке и удалении различных веществ. Кровь приносит ко всем клеткам субстраты, необходимые для их нормального функционирования (например, O₂ и питательные вещества), и удаляет продукты их жизнедеятельности (CO₂ и др.). Все эти вещества поступают в кровоток и выходят из него не непосредственно, а через интерстициальную (межклеточную) жидкость. Сердечно-сосудистая система выполняет и многие другие функции.

Сердечно-сосудистая система человека состоит из двух последовательно соединенных отделов.

1. Малый (легочный) круг кровообращения. Движение по сосудам легких от правого сердца к левому.
2. Большой (системный) круг кровообращения. Кровоснабжение всех остальных органов и отток крови от них.

Вследствие такого последовательного соединения обоих отделов выбросы правого и левого желудочков должны быть строго одинаковыми (возможны лишь кратковременные отклонения). [15]

1.2 Распространения возбуждения

Автоматизм. Ритмические сокращения сердца возникают под действием импульсов, зарождающихся в нем самом. Если изолированное сердце поместить в соответствующие условия, оно будет продолжать биться с постоянной частотой. Это свойство называется автоматизмом. В норме ритмические импульсы генерируются только специализированными клетками водителя ритма (пейсмекера) и проводящей системы сердца.

Водителем ритма служит синоартериальный (СА) узел, расположенный в стенке правого предсердия у места впадения в него верхней полой вены. Частота разрядов СА-узла в покое составляет около 70 в 1 мин. От этого узла возбуждение распространяется сначала по рабочему миокарду обоих предсердий. Единственный путь, по которому импульсы могут пройти к желудочкам, изображен на рис.1 красным; остальные участки атриовентрикулярного соединения состоят из невозбудимой соединительной ткани. При распространении возбуждения по проводящей системе оно на короткое время задерживается в атриовентрикулярном (АВ) узле. Остальные отделы специализированной системы пучок Гиса с его левой и правой ножками и их конечные разветвления- волокна Пуркинье проводят импульсы довольно быстро (со скоростью примерно 2 м/с), поэтому различные отделы желудочков достаточно синхронно охватываются возбуждением.

Скорость распространения импульса от субэндокардиальных окончаний волокон Пуркинье по рабочему миокарду составляет около 1 м/с. [1]

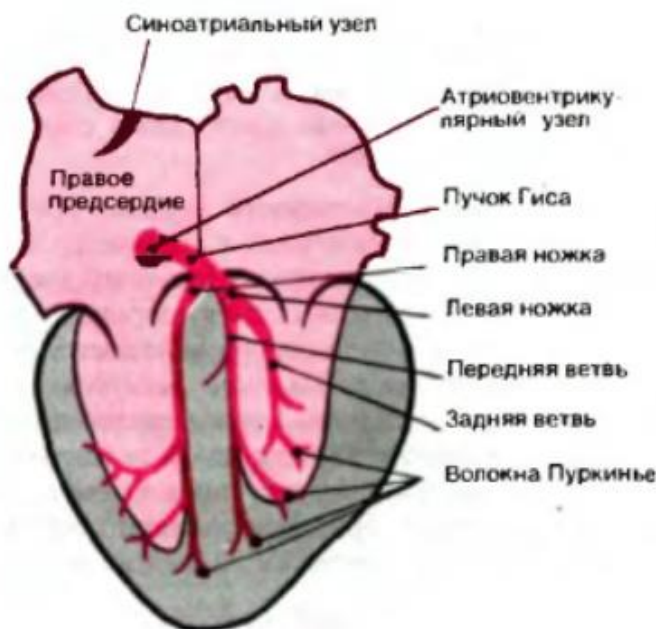


Рисунок 1 - Схема расположения водителей ритма

1.3 Биоэлектрическая активность сердца

При возбуждении и реполяризации сердца возникает разность потенциалов, которое можно зарегистрировать на поверхности тела. При этом между различными точками тела создается разность потенциалов, изменяющаяся в соответствии с колебаниями величины и

направления этого электрического поля. Кривая изменений этой разности потенциалов во времени называется электрокардиограммой (ЭКГ). Таким образом, ЭКГ отражает возбуждение сердца, но не его сокращение.

1.3.1 Соотношение между ЭКГ и процессом возбуждения сердца

На кривой ЭКГ можно выделить предсердный и желудочковый комплексы. (рис 2.) Предсердный комплекс начинается с зубца Р, соответствующего распространению возбуждения по обоим предсердиям. Далее следует сегмент PQ, в течение которого все отделы предсердий охвачены возбуждением. Реполяризация предсердий совпадает с началом желудочкового комплекса участка кривой от начала зубца Q до конца зубца Т. QRS-комплекс отражает распространение возбуждения по желудочкам, а зубец Т-их реполяризацию. Сегмент ST, подобно сегменту PQ предсердного комплекса, соответствует возбужденному состоянию всех отделов желудочков. В некоторых случаях после зубца Т записывается зубец U; возможно, этот зубец отражает реполяризацию конечных ветвей проводящей системы. [1]

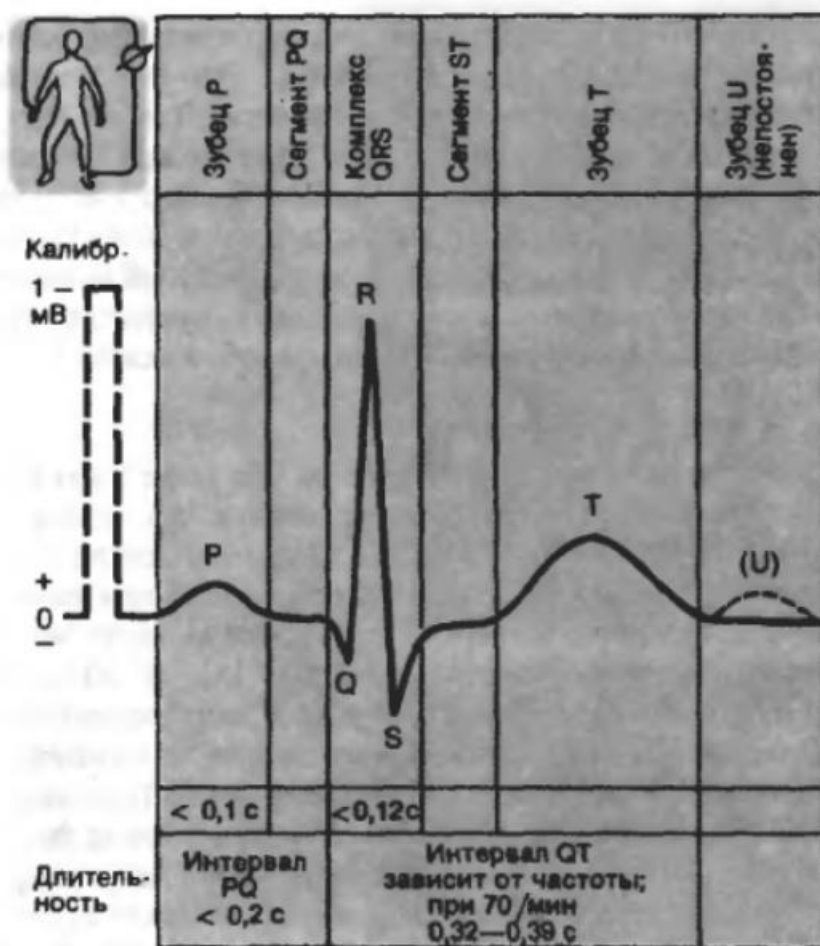


Рисунок 2 - Нормальная ЭКГ человека

Интегральный вектор. В каждый момент в процессе возбуждения сердца отдельные векторы суммируются и образуют интегральный вектор. Его можно построить так же, как результирующую двух сил по правилу параллелограмма; при этом, исходя из двух векторов, строят третий. Внутри стенки сердца большая часть векторов (по подсчетам до

90%) действует во взаимопротивоположных направлениях и нейтрализует друг друга. Связь интегрального вектора с циклом возбуждения. На рис. 3. показаны мгновенные значения интегральных векторов для ряда последовательных стадий возбуждения сердца. По предсердиям в момент зубца Р возбуждение распространяется преимущественно сверху вниз; это означает, что большая часть отдельных векторов деполяризации направлена к верхушке сердца и интегральный вектор в этот момент также ориентирован в этом направлении. Во время возбуждения всех отделов предсердий разность потенциалов временно исчезает, так как потенциалы действия всех предсердных клеток находятся в стадии плато. В это время возбуждение распространяется по проводящей системе желудочков, однако общее количество возбуждающихся клеток при этом невелико и существенной разности потенциалов не возникает (сегмент PQ). Затем при переходе возбуждения на рабочий миокард желудочков вновь появляются значительные градиенты напряжения. Возбуждение желудочков начинается с деполяризации левой поверхности межжелудочковой перегородки; при этом возникает интегральный вектор, направленный к основанию сердца (начало комплекса QRS). Затем вектор быстро меняет направление на противоположное (к верхушке), и формируется самый крупный зубец комплекса QRS. Это соответствует распространению возбуждения через стенку желудочков от эндокарда к эпикарду. В последнюю очередь возбуждается участок правого желудочка в области основания легочного ствола; интегральный вектор в этот момент будет направлен вправо и вверх (конец комплекса QRS). Распространение возбуждения по желудочкам (комплекс QRS) совпадает с реполяризацией предсердий. Когда желудочки полностью охвачены возбуждением (сегмент ST), разность потенциалов между различными их отделами временно исчезает, как и при возбуждении предсердий (сегмент PQ). Затем следует фаза реполяризации желудочков (зубец Т). [1]

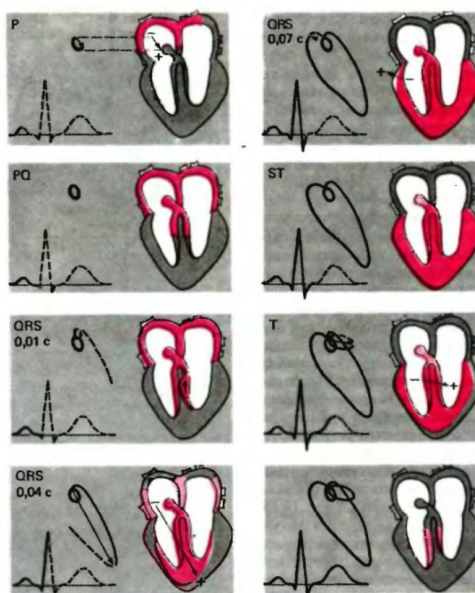


Рисунок 3 - Соотношение различных участков ЭКГ с фазами возбуждения сердца

1.4 Холтеровский метод измерения ЭКГ

При проведении большого числа научных экспериментов, связанных с участием человека, возникает необходимость в оценке отклика организма на то или иное воздействие. Сердечно-сосудистая система (ССС) является своеобразным «индикатором» в

таких исследованиях, так как малейшее изменение состояния организма испытуемого отражается в изменении функционирования его ССС. Кроме того, увеличивающееся с каждым годом число больных с заболеваниями ССС делает необходимым детальное изучение работы сердца и всей системы в целом.

Для этих целей наиболее удобно проведение суточного мониторинга основных показателей активности ССС. Оно позволяет наблюдать динамику переменных состояния ССС испытуемого в течение суток, как в условиях типичной суточной активности, так и при возможном воздействии тех или иных факторов.

Часто используемый в подобных исследованиях метод – суточное мониторирование электрокардиограммы (ЭКГ). Данный метод позволяет увидеть все аспекты вариабельности ритма сердечной деятельности, и является наиболее информативным среди прочих методов.

1.5 Определение вариабельности ритма сердца

Вариабельности ритма сердца оценивается по промежуткам времени между последовательными зубцами R. Это связано с тем, что зубец R является наибольшим по амплитуде и его легче всего выделить из сигнала ЭКГ при компьютерной обработке. При графическом представлении мы можем четко видеть вариации R-R интервалов за определенный временной промежуток. Если по оси абсцисс откладывается номер кардиоинтервала, то она называется кардиоинтервалограммой, если время – ритмограммой. [17]

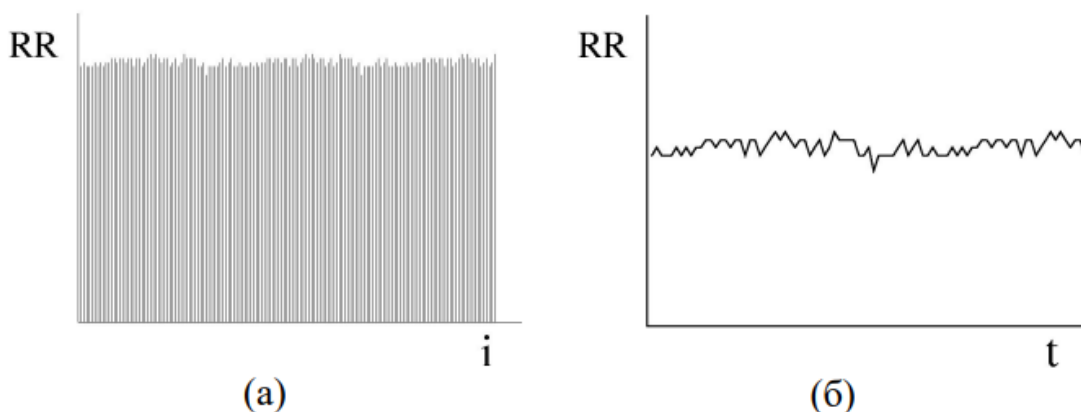


Рисунок 4 - Кардиоинтервалограмма (а) и ритмограмма (б)

По полученным данным проводится временной анализ. Существует два метода: первый включает показатели, рассчитанные на основе анализа продолжительности очередных интервалов R-R синусового ритма. Второй метод основан на анализе разницы между очередными интервалами R-R этого ритма.

Среднее от всех интервалов RR

$$\frac{\sum_{i=1}^N RR_i}{N},$$

стандартное отклонение от среднего арифметического

$$\sqrt{\frac{(RR_i - \bar{M})^2}{N - 1}}.$$

Существуют графические способы представления результатов вариационной пульсометрии. Одним из них является гистограмма распределения, являющаяся исчерпывающей предельной характеристикой, которая все нам говорит о процессе в целом. На ней RR интервалы, сгруппировываются по их периоду в процентном соотношении за определенный промежуток времени.

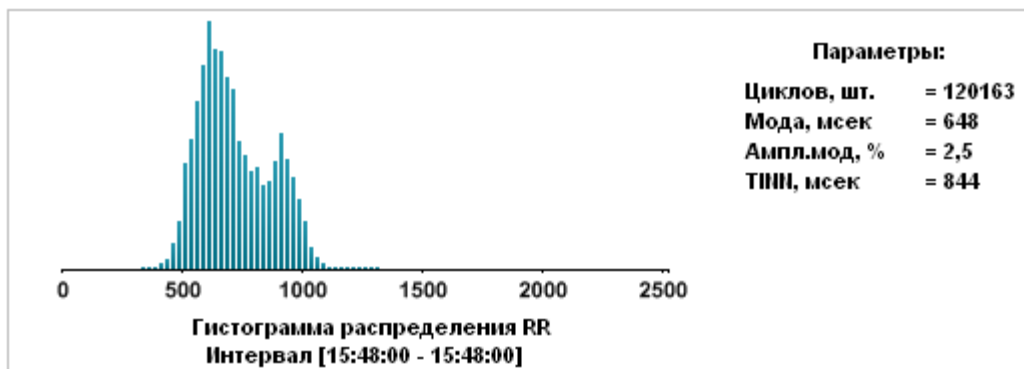


Рисунок 5.1 – Гистограмма распределение RR интервалов

При таком представлении данных мы можем судить о средних и предельных уровнях напряжения системы, а также о границах диапазона изменчивости RR интервалов при определенных условиях и интервале измерения. Для корректного построения гистограммы, необходимо значительное число кардиоинтервалов. Для этого измерение RR интервалов должно длиться не менее 20 минут.

Еще одним графическим методом является корреляционная ритмография. По осям откладываются значения двух соседних RR интервалов, в результате чего на прямоугольной системе координат получается точка. Множество точек, полученных таким образом является скатерграммой – рисунок 5.2. Вариации RR интервалов создают разброс точек в виде эллипса. По его виду можно определять различные аритмии, уровень напряжения и прочие отклонения в работе сердца. [2]

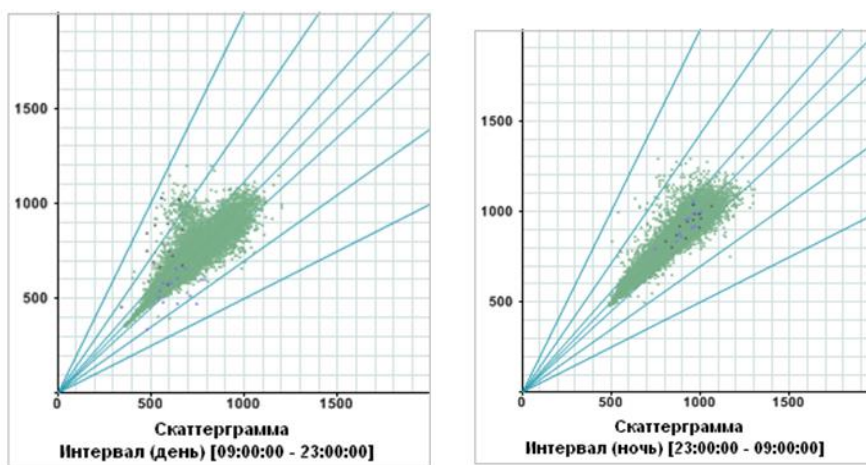


Рисунок 5.2 - Корреляционная ритмограмма человека днем и ночью

Широко известно явление синусовой дыхательной аритмии, в частности, изменение интервалов R-R: они укорачиваются во время вдоха и удлиняются во время выдоха. Этот цикл связан с частотой дыхательных движений (ЧДД), а именно в покое 12 раз в минуту, или каждые 5 секунд с частотой 0,20 Гц (1 цикл/ 5 с = 0,20 Гц). Кроме дыхательных волн, благодаря компьютеру, выделена аритмия, зависящая от периодичности изменения артериального давления, регулируемого барорецепторами. В этом сложном цикле изменения интервалов R-R повторяются около 6 раз в минуту, а именно каждые 10 секунд с частотой 0,1 Гц (1 цикл/10 с = 0,10 Гц). Нерегулярность синусового ритма может быть связана с вегетативной регуляцией температуры тела, некоторые исследователи связывают её также с ренин-ангиотензин-альдостероновой системой. Эта аритмия характеризуется самым продолжительным циклом изменчивости интервалов R-R, повторяющимся менее, чем 3 раза в течение минуты, а значит циклами >20 секунд, то есть с частотой 0,05 Гц (1 цикл/20 с = 0,05 Гц). Кобаяши и Муша кроме этих 3-х основных ритмов HRV, выделяют ритм, в котором циклы изменчивости интервалов R –R определяются с частотой 0,00001-0,01 Гц. Описанные циклы вариабельности интервалов R-R накладываются друг на друга в определенной периодичности, а дополнительно их ритмичность зависит от естественной активности человека. В записи, произведенной в течение нескольких минут, можно выделить из перечисленных выше типов циклических изменений тип, зависящий от дыхания, хотя достаточно часто его сложно выявить при значительной вариабельности интервалов R-R. Упорядочить хаос, принимая во внимание качественное различие трех основных типов циклической изменчивости интервалов R-R, и провести количественную оценку, можно с помощью компьютерного анализа интервалов RR с использованием метода быстрого преобразования Фурье или авторегрессии. Для получения спектра вариабельности интервалов R-R выполняются следующие этапы:

- 1) измерение интервалов RR синусового ритма (в мс);
- 2) получение очередных интервалов R-R тахограммы;
- 3) упорядочение тахограммы методом быстрого преобразования Фурье или авторегрессии.

Образно кривую ЭКГ можно сравнить с однородным потоком белого цвета, который проходит через призму и расщепляется на разнородные спектры. Такой математической призмой является быстрое преобразование Фурье, которое дает возможность получить спектры изменчивости интервалов R-R синусового ритма. В этих спектрах можно выделить и оценить каждую из составляющих частей.

Разделить спектр по амплитуде частот можно на следующие диапазоны (рис. 5.4.):

- 1) ультранизкие частоты, ULF - до 0,0033 Гц;
- 2) очень низкие частоты, VLF - 0,0033 - 0,04 Гц;
- 3) низкие частоты, LF- 0,04-0,15 Гц;
- 4) высокие частоты, HF - 0,15-0,4 или 0,5 Гц.

Диапазоны LF и VLF зависят главным образом от симпатической системы, а HF от парасимпатической системы (изменение дыхания), а остальные - от двух систем одновременно. Лучше всего изучены и практически используются две составляющие части спектра: LF (0,04 - 0,15 Гц), трактуемая условно как показатель активности симпатической системы и HF (выше 0,15 Гц), являющиеся показателем активности

парасимпатической системы. Отношение LF к HF трактуется как показатель динамического равновесия между двумя автономными системами. [18]

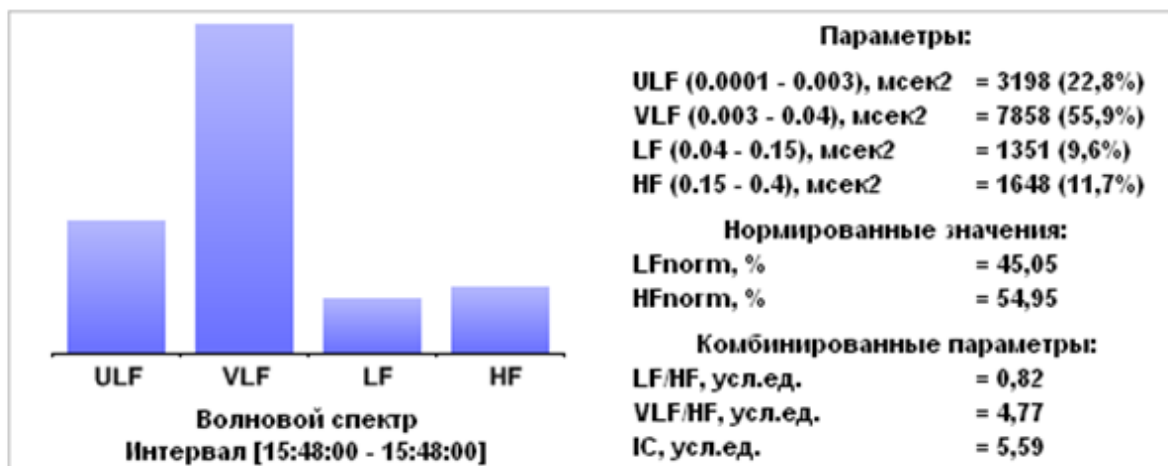


Рисунок 5.4 - Волновой спектр

1.6 Биоритмы

Биологические ритмы — биологические процессы и явления имеющие периодический характер. Биологические ритмы делят на внутренние — экзогенные, и внешние - эндогенные. Экзогенные ритмы — являются пассивными реакциями на факторы окружающей среды. Эндогенные ритмы — автономные колебания, вызванные процессами в самой системе.

1.6.1 Экзогенные ритмы

Окружающая среда оказывает влияние на его жизнедеятельность человека. Давно выделены метеотропные реакции и метеотропные заболевания, для которых установлены связи с космическими и метеорологическими явлениями.

Выделяется два типа реакций организма на действие внешних факторов. Первый - патологические реакции, связанные с неспособностью организма поддерживать гомеостаз. Второй- выработка нового устойчивого состояния.

Наш организм имеет наследственно закрепленное соотношение, в которых при нормальных условиях механизм защиты всегда сильнее чем максимально возможные механизмы отклонения внутренней среды. Однако, у людей, вполне акклиматизированных могут наступить расстройства адаптации под влиянием разнообразных непривычных социально-производственных факторов в организме происходит ряд морфофункциональных сдвигов, касающихся различных систем. Всякое колебание внешней среды вызывает у организма ответную реакцию. Разнообразные факторы внешней среды, воздействующей на организм человека подразделяются на адекватные (соответствующие фенотипическим свойствам организма) и на неадекватные (отличающиеся по силе действия и временной характеристике. Экологический комплекс воздействует на организм через систему анализаторов и механизмов регуляции, а также непосредственно на тканевом, клеточном и других уровнях. [9]

1.6.2 Эндогенные ритмы

По классификации Смирнова В.М, все биоритмы по их источнику делятся на физиологические, геофизические и геосоциальные биоритмы. Физиологические ритмы –это непрерывная циклическая деятельность всех органов, систем и отдельных клеток организма, обеспечивающая выполнение их функций и возникающие независимо от социальных и геофизических факторов. Они формируются в результате увеличения функциональной нагрузки на отдельные клетки, органы и системы в целом в ходе эволюции. Значение этих биоритмов заключается в обеспечении оптимального функционирования клеток, органов и систем организма. Физиологические ритмы обладают способностью менять частоту и, таким образом, являются важнейшим адаптивным инструментом. С другой стороны, значение геосоциальных биоритмов заключается в адаптации организма к режимам труда и отдыха. Появление автоколебаний в биологических системах с циклами, близкими к циклам труда и отдыха, свидетельствует об адаптационных возможностях организма. Геофизические биоритмы - это циклические изменения активности клеток, органов, систем и организма в целом, а также устойчивости, миграции и размножения, вызванные геофизическими факторами. Геофизические биоритмы – это циклические колебания физиологических биоритмов, вызванные изменениями факторов окружающей среды. Они формируются под воздействием природных факторов, связанных с временами года, и их значение заключается в способности обеспечить организмы адаптационными возможностями к естественным циклическим изменениям. [9]

1.6.3 Классификация биоритмов

Ритмы сильно колеблются по периоду и из-за того, что, период ритма только стремится к периоду своего цикла, Халбергом был введен префикс -цирка, а суточные ритмы назвал циркадными. Циркадные же ритмы способствовали разделению спектра на ультрадианные и инфрадианные ритмы. Несмотря на сильно колеблющиеся периодами ритмов, они могут быть связаны друг с другом [4].

К инфрадианным ритмам относят колебания с периодичностью от 28 часов и дольше. В данный раздел входят недельные, сезонные, и годовые ритмы. К циркадианным ритмам относятся биоритмы с продолжительностью от 120 минут до 24 часов. В эту группу входят суточные ритмы: повышение температуры тела к восемнадцати часам и снижение до минимума к полуночи, цикл «сон-бодрствование». Ультрадианные ритмы делятся от миллисекунды до 120 минут. К этой категории относятся сердечные сокращения, дыхательные движения, волны перистальтики в кишечнике, циклическая смена стадий сна [10].

1.7 Сон

Хорошим примером ультрадианных ритмов является циклическая смена стадий сна. Появление этих стадий обусловлено активностью различных структур мозга. Первая стадия, называемая быстрым сном, занимает около 60 % общего времени сна и характеризуется падением температуры тела, замедлением дыхания, замедлением метаболических процессов, снижением тонуса мышц. Вторая стадия, называемая медленным сном, характеризуется полным расслаблением мышц и максимальным снижением мозговой активности. Третья стадия, называемая стадией быстрого движения глаз, характеризуется

повышением активности мозга и быстрым движением глаз под закрытыми веками, отсюда и название. Во время стадии БДГ человек видит сны, она следует за медленным сном и длится обычно 10 -15 минут.

1.8 Базовый цикл активности – покоя

Выдающийся исследователь сна Натаниэль Клейтман из Чикаго в 1963 году сформулировал положение о том, что 90-минутный цикл чередования фаз сна является основным ультрадианным ритмом человеческого организма. Он назвал его «базовый цикл покоя-активности».

Базовый цикл активности покоя - это циклические изменения активности многих органов и систем с периодичностью 90 минут. Из 90 минут 70 приходятся на активность (активная фаза), 20 минут – на релаксацию (пассивная фаза). Впервые 90-минутный цикл был обнаружен при изучении сна. Сон имеет две стадии: медленно волновая и «активированная» (фаза быстрых движений глаз). Расстояние между началом двух последовательных эпизодов быстрых движений глаз называется циклом БДГ. Она составляет от 90 до 100 минут. Периодический ритм подъемов и спадов активности характерен для всех людей не только во время сна, но подспудно и во время бодрствования. В фазе подъема мы чувствуем особенную бодрость; заснуть в такой момент трудно. Во время спада человек чувствует себя ослабевшим и усталым. [9]

Ритмов человеческого организма с периодом около 90 мин. обнаружено достаточно много: это ритмы работоспособности, экскреторной функции почек, общей двигательной активности, появления иллюзии движения, оральной активности, фазы сна БДГ. У маленьких детей длина цикла сна составляет 45 минут в среднем, после 2 лет он в среднем становится 90 минут. 1,5-часовые ритмы, которые характеризуют смену бодрости и сонливости, голода и сытости, а также имеют прямое отношение к смене фаз медленного и быстрого сна. Кроме того, различные исследования показали, что люди во время работы любят каждые полтора часа сделать перерыв, помечтать или сменить работу. Длительность фильмов, первоначально колебавшихся в широких пределах, в конце концов, установилась около 1,5 ч. (90 мин.) для односерийного и 3 часа для двухсерийного фильма. Продолжительность голливудских фильмов достаточно жестко привязана к интервалу 90 мин. Вместимость стандартной аудиокассеты составляет также была 90 мин. [9]

2. Приборы и методы исследования

В данной работе использовался браслет марки Xiaomi версии Mi Band 4 (рисунок 4). Они являются наиболее бюджетные и компактные. Браслет крепится силиконовым ремешком на запястье и состоит из акселерометра, гироскопа и датчика сердцебиения.



Рисунок 6 – фитнес-браслет Xiaomi Mi Band 4

Браслет ведет регистрацию ЧСС, двигательной активности и фаз сна. Так для фиксации двигательной активности акселерометр в паре с гироскопом улавливает перемещение и записывает результаты в память устройства. Для учета расстояния устройство всё время держит датчики в активном режиме. Для анализа ночного отдыха используется специальный алгоритм.

Для экспорта данных, полученных с браслета, на смартфон устанавливается приложение Notify for Mi Band. Приложение синхронизируется через Bluetooth с браслетом и таким образом осуществляется передача данных. После синхронизации, данные в виде таблиц (рисунок 5, 6), экспортируются на персональный компьютер для дальнейшего анализа.

Пульс	Метка времени	Дата	Время
95	1638291601804	1 дек. 2021 г.	12:00:01 AM
92	1638291603740	1 дек. 2021 г.	12:00:03 AM
94	1638291607618	1 дек. 2021 г.	12:00:07 AM
...	...	...	...

Рисунок 5 – Экспортируемые таблицы данных пульса

Шаги	Метка времени	Дата	Время
121	1638292260000	1 дек. 2021 г.	12:11:00 AM
1077	1638292860000	1 дек. 2021 г.	12:21:00 AM
1494	1638293460000	1 дек. 2021 г.	12:31:00 AM
...	...	...	...

Рисунок 7 – Экспортируемые таблицы данных двигательной активности

Видно, что данные не приведены к эквидистантному виду. Фиксация пульса ведется в расплывчатом интервале, а шагов раз в 10 минут. В таблицах имеется ряд с меткой времени. Метка времени — это такой системный «тик», накопленный в миллисекундах, что говорит о высокой точности измерений.

Далее для анализа данных на персональный компьютер устанавливается программный пакет STATISTICA версии 8.0 и проводится канонический анализ вариабельности сердечного ритма, который включает в себя методы временной и частотной областей. К временным характеристикам вариабельности сердечного ритма относятся следующие статистические показатели:

1. Среднее значение:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1)$$

где n — объём выборки;

$x_i - i$ — ый элемент выборки.

2. Медиана, которая делит ряд данных пополам;
3. Мода, которая обозначает наиболее встречаемое значение в ряду данных;
4. Дисперсия:

$$D = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}, \quad (2)$$

где $\bar{x}$ — среднее значение элементов выборки;

n — объём выборки;

$x_i - i$ — ый элемент выборки.

5. Среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (3)$$

где $\bar{x}$ — среднее значение элементов выборки;

n — объём выборки;

$x_i - i$ — ый элемент выборки.

6. Коэффициент корреляции, определяющий взаимосвязь двух переменных:

$$r_{yx} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (4)$$

где $x_i - i$ – ый элемент выборки x ;

$\bar{x}$ – среднее значение элементов выборки x ;

$y_i - i$ – ый элемент выборки y ;

$\bar{y}$ – среднее значение элементов выборки y .

Для спектрального анализа временных рядов данных используют прямое преобразование Фурье функции $x(t)$ в частотное распределение (спектр).

Пусть реализация $x(t)$ имеет конечную длину $T_r = T_p$, равную фундаментальному периоду. Предположим также, что она состоит из чётного числа N эквидистантных наблюдений с интервалом дискретизации, который выбран таким образом, что частота

Найквиста $f_c = \frac{1}{2\Delta t}$ достаточно высока. Будем считать, что начальный момент реализации равен нулю, и обозначим, как и прежде, преобразованную последовательность следующим образом:

$$x_n = x(\Delta t), n = 1, 2, \dots, N. \quad (5)$$

Вычислим теперь по всем N значениям реализации конечный ряд Фурье. Для любой точки t , принадлежащей интервалу $(0, T_p)$, этот ряд имеет вид

$$x(t) = A_0 + \sum_{q=1}^{N/2} A_q \cos\left(\frac{2\pi q t}{T_p}\right) + \sum_{q=1}^{(N/2)-1} B_q \sin\left(\frac{2\pi q t}{T_p}\right). \quad (6)$$

В точках $t = n\Delta t$ ($n = 1, 2, \dots, N$) где $T_p = n\Delta t$, получим

$$x_n = x(n\Delta t) = A_0 + \sum_{q=1}^{N/2} A_q \cos\left(\frac{2\pi q n}{N}\right) + \sum_{q=1}^{(N/2)-1} B_q \sin\left(\frac{2\pi q n}{N}\right), \quad (7)$$

Коэффициенты A_q и B_q определяются выражениями

$$A_0 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n = \bar{x} = 0; \quad (8)$$

$$A_q = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N x_n \cos \frac{2\pi q n}{N}, \quad q = 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1; \quad (9)$$

$$A_{N/2} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \cos n\pi, \quad (10)$$

$$B_q = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N x_n \sin \frac{2\pi q n}{N}, \quad q = 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1. \quad (11)$$

Исходя из определенных коэффициентов можно построить соответственно амплитудный и фазовый спектры временного ряда [16].

Для доказательства правомерности использования Band для массовых исследований, сравним изменение вариации сердечных сокращений при использовании браслета и медицинского сертифицированного Монитора ЭКГ холтеровского компьютеризированного носимого «Валента» МН-02-5 (рис. 16). Это комплекс, предназначенный для непрерывного суточного наблюдения за ЭКГ пациента. Комплекс обеспечивает суточную запись ЭКГ в 3-х биполярных отведениях в условиях обычной активности пациента, хранение сигналов в энергонезависимой памяти, ввод в компьютер и обработку результатов измерений, формирование итогового документа. [11]



Состав аппаратной части комплекса:

- монитор носимый МН-02-5;
- кабель отведений КО.МН-02-6 (датчик ЭКГ);
- адаптер АМН-02-5 (устройство сопряжения регистратора с компьютером);
- зарядное устройство ЗУ-01;
- персональный компьютер;
- аккумулятор АА емкостью 2500 mAh.

Рисунок 7 – Аппаратная часть комплекса «Валента»

Для изучения кардиохронотропных реакций человека проводится непрерывный мониторинг пульса, а также регистрируется дневная активность в виде шагов, которые синхронизированы по времени с пульсом (Это необходимо для дальнейшего связывания пульса с физической активностью(шагами), что позволит при дальнейшем анализе выделить стадии модуляции сердечных ритмов при физической нагрузке). Программой (notify for my band) проводится выделение стадий сна.

Была сформирована база данных. Данные были обработаны и подготовлены к дальнейшему анализу.

Для агрегации данных и приведение их к эквидистантному виду, совместно с научным руководителем, была написана специальная программа обработки (рисунок 8).

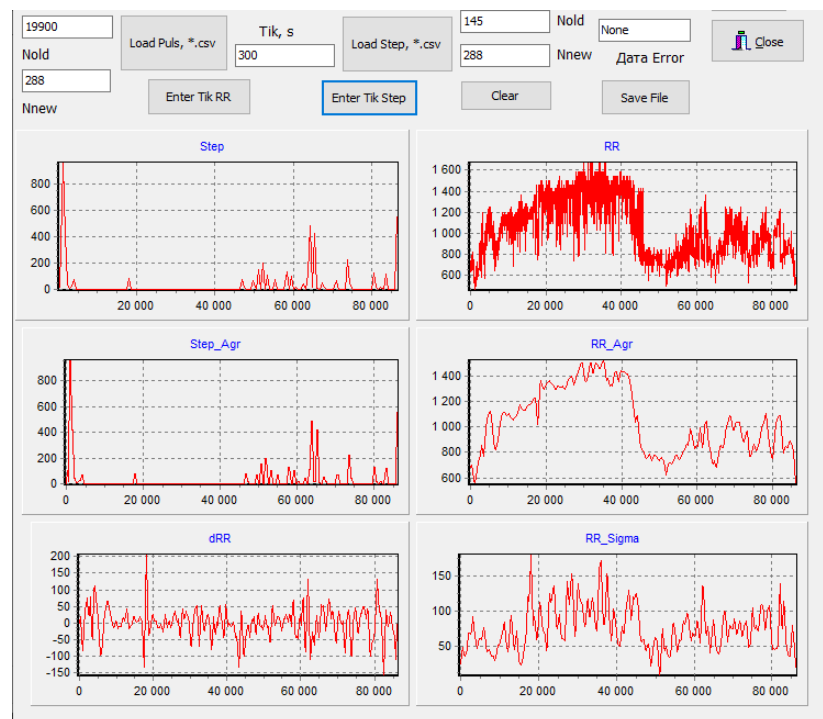


Рисунок 8 – Интерфейс программы обработки

В неё импортируются файлы пульса и шагов, а после задается «тик» в секундах, в нашем случае он равен 6. На интерфейс выводятся 6 графиков, а именно, два графика исходных данных пульса (RR) и шагов (Step), два агрегированных графика пульса (RR_Agr) и шагов (Step_Agr), а также график дисперсии вариаций сердечных сокращений (RR_Sigma) и график с разностью первого порядка (dRR). Так как, браслет ведет фиксацию пульса в bpm (удары в минуту), то программа, преобразует пульс в миллисекунды, то есть в RR-интервалы. Ведь вариабельность сердечного ритма оценивается по длительности RR-интервалов. Склонность к оценке интервалов RR связана с тем, что зубец R, особенно во втором стандартном отведении, наиболее легко выделить из ЭКГ-сигнала при компьютерной обработке в силу того, что он является наибольшим по амплитуде.

indt	mrr	drr	srr	st
0	686	0	26	0
300	705	0	39	106
600	662	0	49	15
...	...	...	...	...

Рисунок 9 – Таблица агрегированных данных

Indt – метка времени;

Mrr – среднее значение периода RR интервала;

Drr – текущее минус предыдущее;

Srr – стандартное отклонение;

St – скорость шагов за интервал времени;

То есть мы ставим в соответствие число шагов и средний период сердечных сокращений (далее будет проведен регрессионный анализ периода сердечных сокращений по отношению к числу шагов как независимой переменной).

Следующая программа проводит комплексную статистическую обработку данных сна:

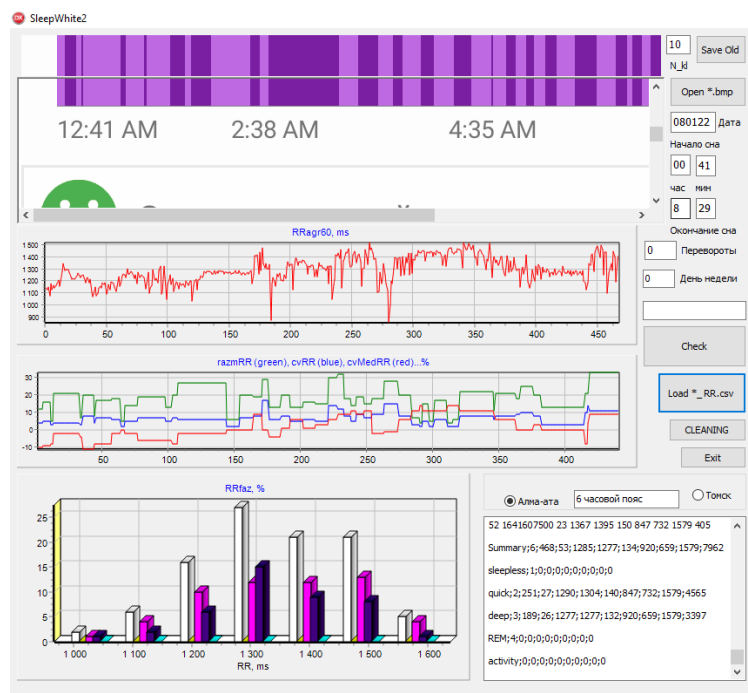


Рисунок 10 - Интерфейс программы

Первый график это у нас RR агрегированный по минутам за период сна. По у частота RR по x время в минутах.

На втором графике мы можем посмотреть соответствие по периодам (что меняется в этих интервалах).

Green – как меняется размах в процентах;

Blue – стандартное отклонение;

Red – отклонение медианы относительно средней за весь период;

На третьей картинке находятся гистограммы распределения для каждого интервала RR по фазам сна (т.е. по оси OX отложено время периода RR в мс, а по оси OY проценты по каждым фазам сна на данной частоте RR).

Числовые данные предоставляемые программой представлены в приложении А.

3. Результаты и обсуждение

3.1 Сравнение с сертифицированным медицинским прибором «Валента»

«Валента» проводит измерения периодов RR с временной дискретизацией 2 мс. В то время как «Mi Band» оценивает длительность пульсовой волны с изменчивой временной дискретизацией от 2 до 6 секунд. Для удобства сравнения данные были приведены в эквидистантный вид с агрегацией в одну минуту.

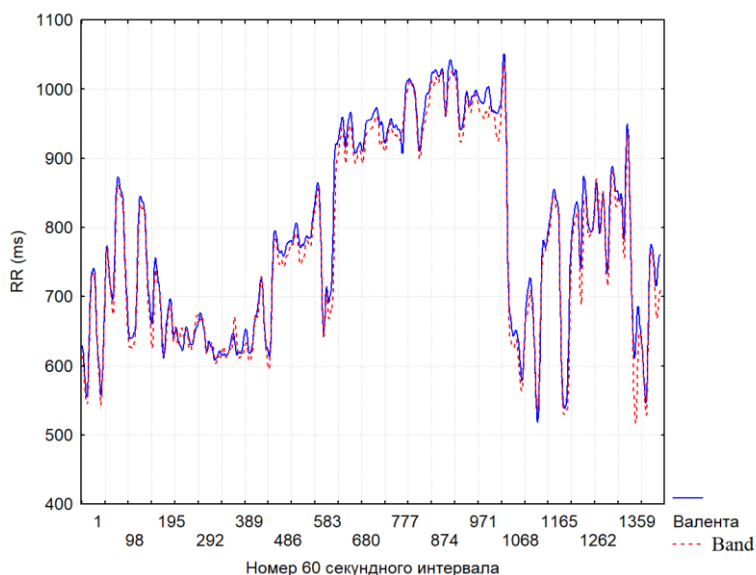


Рисунок 11 – Вариации сердечных сокращений при измерении браслетом и Монитором «Валента»

Данные на рисунке 11 были отфильтрованные для уменьшения зашумленности графиков. Видно, что они идентичны, за исключением небольших сдвигов вправо у показателей браслета. Сдвиг право происходит из-за синхронизации браслета с мировым временем при входе в приложение на смартфоне. Этот сдвиг можно устранить в настройках браслета.

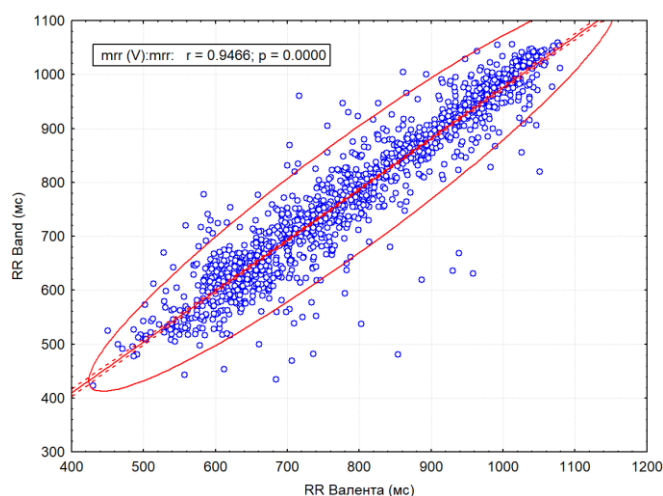


Рисунок 12 – Регрессия соответствия данных измерения Монитором «Валента» и «Mi Band»

На рисунке 12 изображена Регрессия соответствия данных измерения Монитором «Валента» и «Mi Band» где коэффициент r равный единице характеризует полное

соответствие данных. В нашем случае коэффициент r равен 0.95 что является очень хорошим показателем точности измерений браслета и полученные им данные можно использовать.

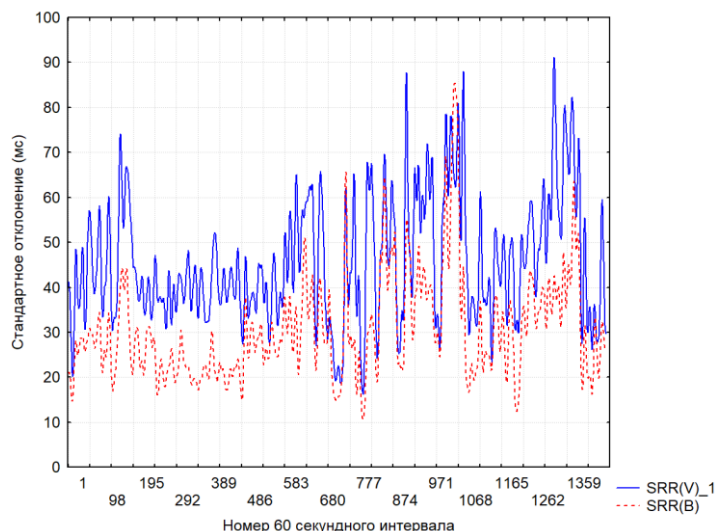


Рисунок 13 – Временной ряд для стандартного отклонения RR Монитора «Валента» и «Mi Band»

Как видно на рисунке 13 для стандартного отклонения присутствует постоянный сдвиг — это связано с разностью оценки времени RR интервалов. Для Монитора «Валента» это импульсный сигнал, а для «Mi Band» это пульсовая волна. Добротность оценки пульсовой волны меньше чем у импульсного сигнала в результате чего величина стандартного отклонения меньше.

3.2 Циркадианная динамика эндогенного происхождения.

Рассмотрим циркадианную динамику эндогенного происхождения модулированная совокупностью случайных факторов.

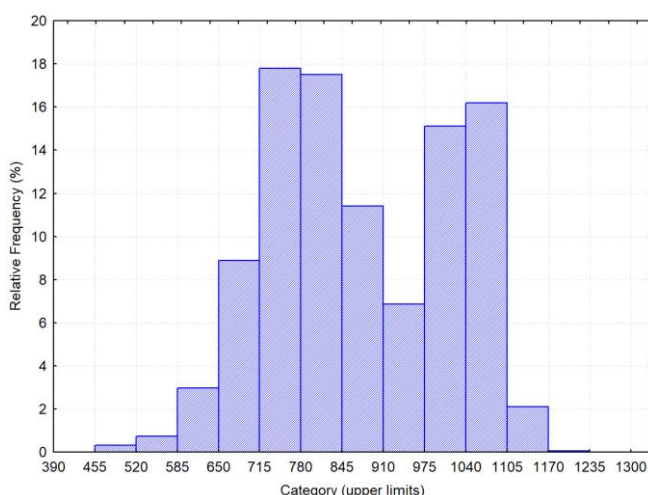


Рисунок 14 - Суточное распределение RR интервалов

Для суток мы получаем бимодальное распределение где одна мода соответствуют периодам сна, а вторая периодам бодрствования.

Если же рассматривать период бодрствования, можно выделить три области вариации RR интервалов.

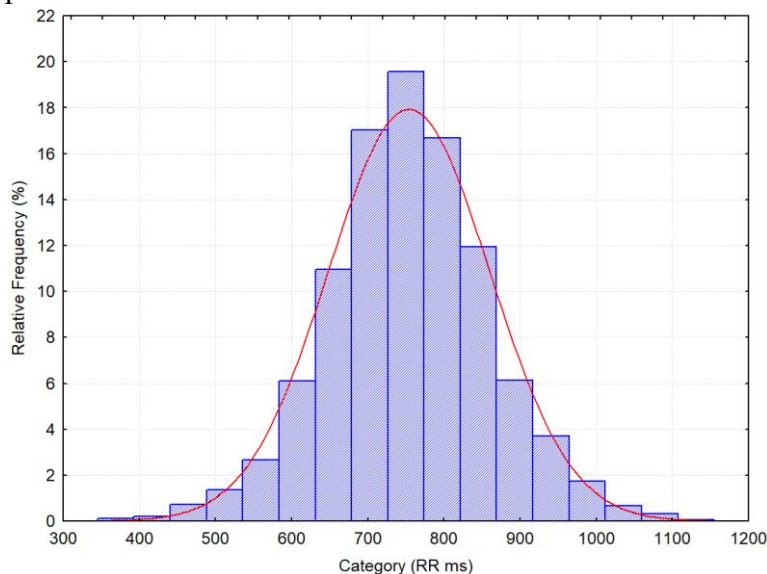


Рисунок 15 - Дневное распределение RR интервалов

Для дня характерно нормальное распределение где мода соответствует комфортному для системы уровню дневного напряжения. Значения ниже моды могут быть связаны с ортостазом, двигательной активностью, физической или эмоциональной нагрузкой. Значения выше моды - с изменением гемодинамического сопротивления, расслаблением мышц и снижением мозговой активности.

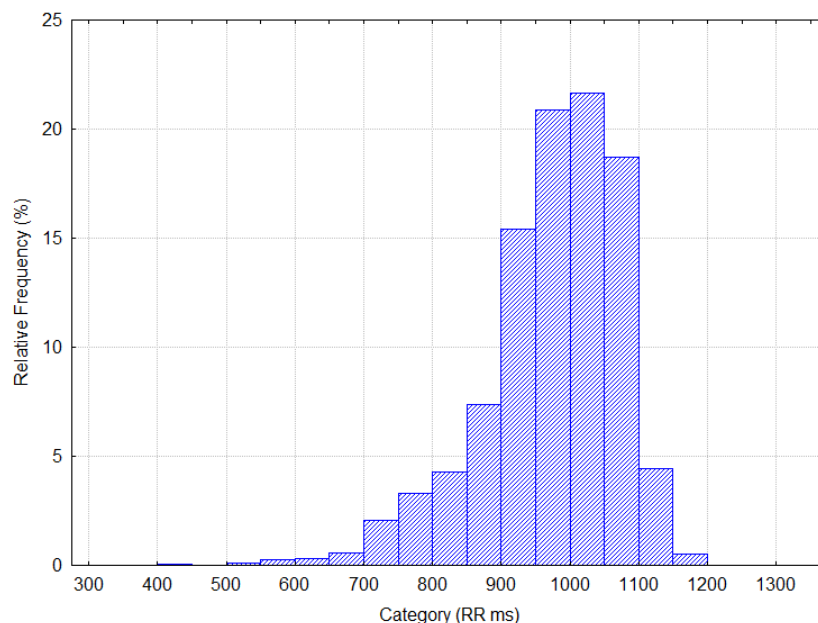


Рисунок 16 - Ночное распределение RR интервалов

Ночное распределение имеет сдвиг моды в область предельно больших значений периода RR интервалов, так как уровень напряжения системы ночью значительно ниже.

Рассмотрим временную динамику во времени для единичной реализации для среднего значения RR интервала с агрегацией 3 минуты.

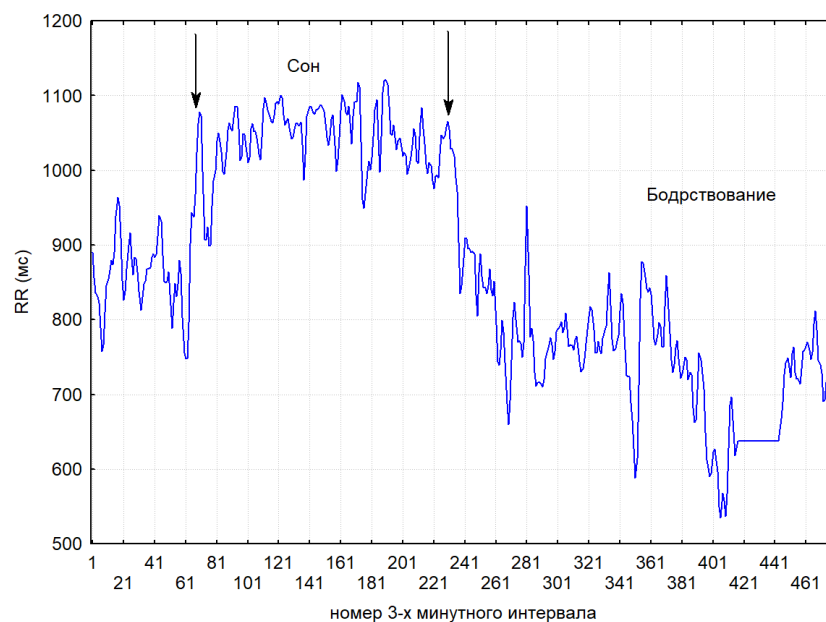


Рисунок 17 - Суточные вариации сна и бодрствования

На нем мы можем легко различить периоды сна и бодрствования и соответствующие им уровни функционирования.

А теперь рассмотрим средне суточную динамику за месяц.

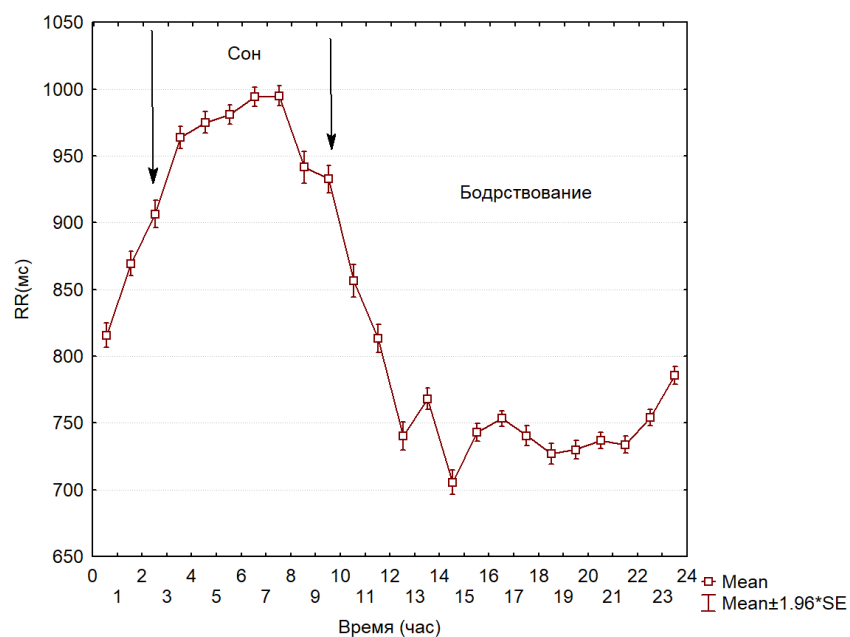


Рисунок 18 – Средне месячные данные периода RR интервалов сгруппированные по времени суток.

Видно при этом что высокочастотные вариации сглаживаются и прорисовывается усреднённый суточный цикл.

Суточную динамику также имеет стандартное отклонение периодов RR внутри интервала дискретизации.

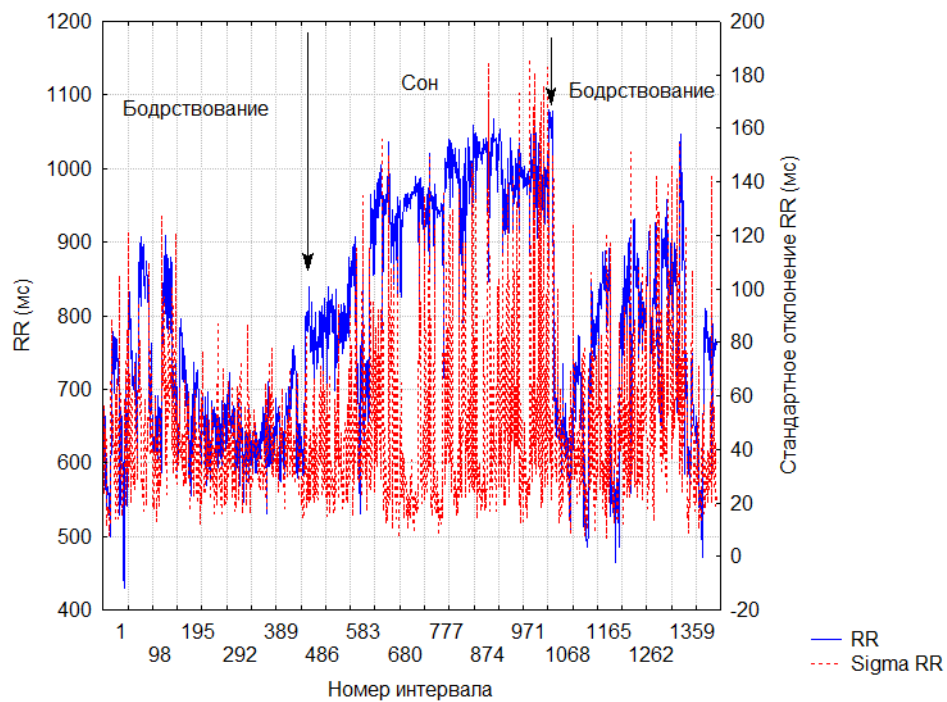


Рисунок 19 – Сопряженная динамика средних и стандартного отклонения RR интервалов в течение суток

Легко заметить, что величина стандартного отклонения во время сна больше чем в период бодрствования. Это связано с тем что рассматриваемая нами система имеет порог напряжения. Среднее значение RR интервалов во время сна лежит значительно дальше от этого порога нежели дневное значение. В результате этого система имеет больший интервал изменчивости в период сна и соответственно большее стандартное отклонение RR интервалов.

3.3 Индивидуальная циркадианная динамика

В циркадианной ритмике также присутствуют индивидуальные для каждого человека характеристики.

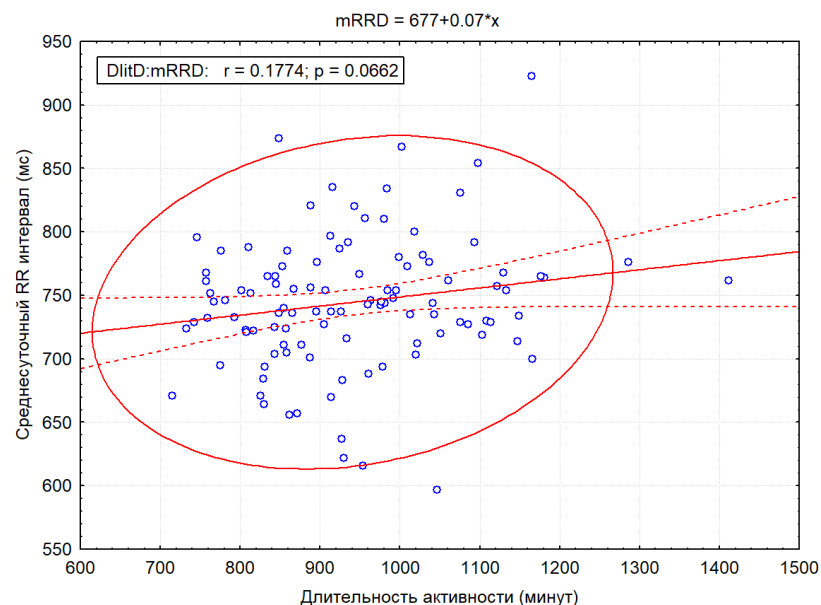


Рисунок 20 - Диаграмма рассеяния длительности сна от длительности бодрствования

Здесь мы наблюдаем явное увеличение среднесуточного интервала с увеличением продолжительности бодрствования. Это в явном виде отражает поведенческий фактор в период бодрствования. То есть чем пассивнее исследуемый объект проводит период активности, тем меньше он нуждается во сне.

Рассмотрим регрессионную зависимость длительности сна от длительности бодрствования.

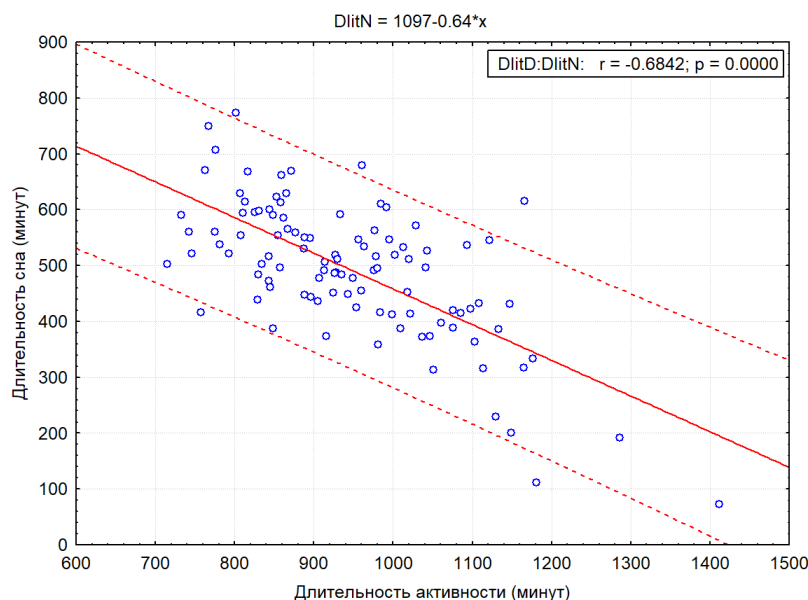


Рисунок 21 – Диаграмма рассеяния длительности сна от длительности бодрствования

Данная регрессионная зависимость отражает взаимосвязь между циклами активности и сна при свободно текущих ритмах, модулируемых индивидуальными факторами. Для сопряженной кривой зависимость будет иметь вид – $y = 1306 - 0.73 \cdot x$.

Можно на основе этих экспериментальных данных сказать, что в условиях свободной эндогенной активности эти величины можно интерпретировать как индивидуальный внутренний циркадианный ритм, который лежит в области 18 – 22 часов, что расходится с геофизическим 24 часовым циклом.

3.4 Двигательная активность

Рассмотрим фактор двигательной активности как причины изменчивости периода RR интервалов.

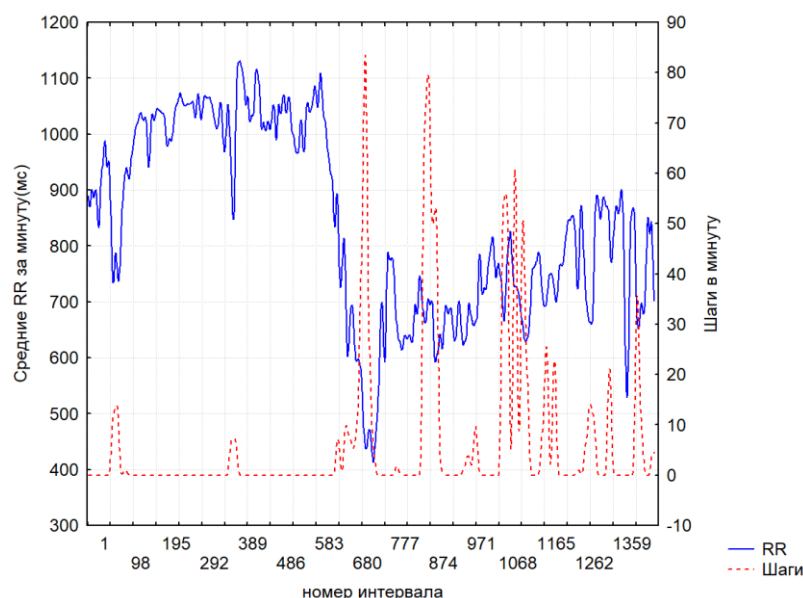


Рисунок 22 - Сопряженная динамика сердечного ритма и двигательной активности в течении суток

Как видно по сопряженной суточной динамике связь существует и для ее оценки было построено месячное распределение данных времени RR интервалов сгруппированных по количеству шагов в минуту.

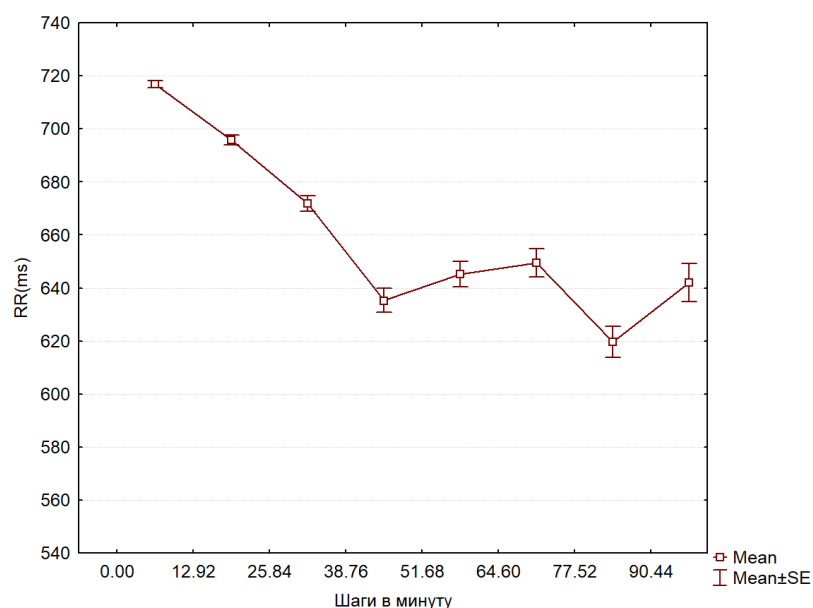


Рисунок 23 – Данные времени RR интервалов сгруппированные по количеству шагов в минуту.

Как видно рисунке 20, для дня существенные изменение ЧСС происходят в интервале от 10 до 50 шагов в минуту, этот связанно с фазой согласованных вариаций периода СС с системной гемодинамикой при движении, далее при комфортном движении без существенного напряжения мышц система приходит в устойчивое состояние. То есть перераспределение гемодинамики идет в совокупности с двигательной активностью, и наибольшую зависимость скорости шагов и пульса мы имеем в интервале от 10 до 50 шагов в минуту, потому что именно в этом интервале мы наблюдаем наибольшую зависимость, но при условии отсутствия напряжения.

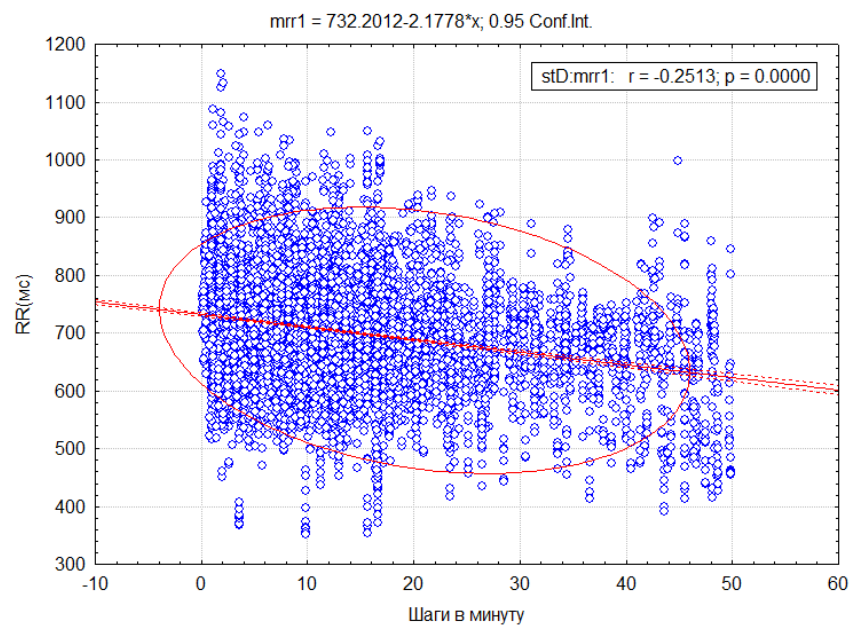


Рисунок 24 – Диаграмма рассеяния RR интервалов от шагов в минуту в интервале от 10 до 50

В полученном уравнении регрессии первое слагаемое равно среднемесячному интервалу RR для дневного функционирования, без учета расслабленного или стационарного состояния, а второе это изменение RR в миллисекундах за x шагов в минуту. Мы видим, что линейная связь позволяет нам прогнозировать изменения ЧСС на интервалах имеющих шаги.

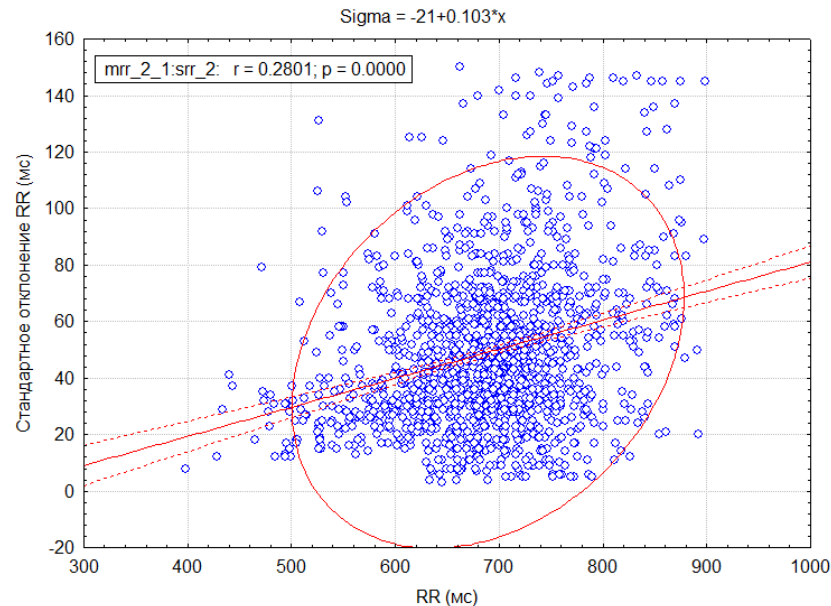


Рисунок 25 – Диаграмма рассеяния RR интервалов от их стандартного отклонения для промежутка скорости от 10 до 50 шагов в минуту

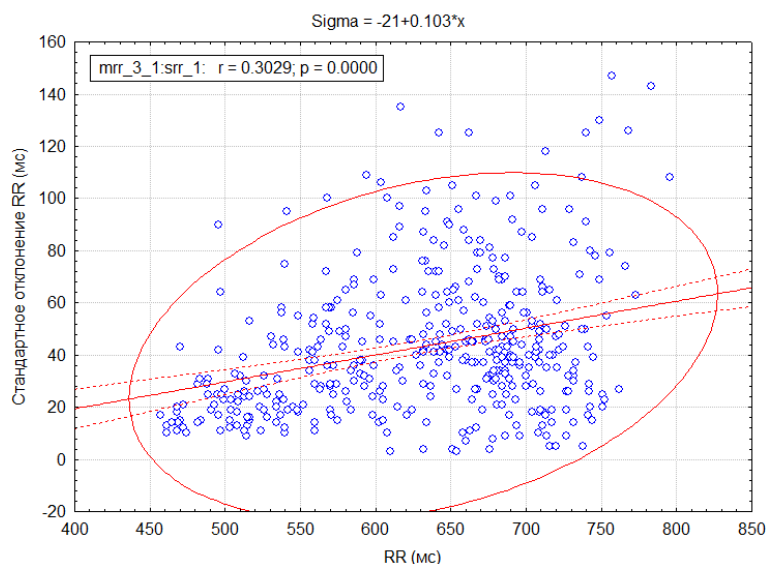


Рисунок 26 – Диаграмма рассеяния RR интервалов от их стандартного отклонения для промежутка скорости от 50 шагов в минуту и выше

Если же рассматривать стандартное отклонение RR интервалов на этих промежутках скорости, то мы видим одинаковую зависимость. Отсюда следует вывод, что при движении варьируется только средний уровень ЧСС, а дисперсия остается постоянной для любого интервала скорости, но без нагрузки. Уровень напряжения на этих интервалах одинаков, а роль в вариация RR играет перестройка гемодинамики.

3.5 Перераспределение гемодинамики

Еще одна существенная причина вариации ЧСС является перераспределение гемодинамики. Гемодинамика — движение крови по сосудам, возникающее вследствие разности гидростатического давления в различных участках кровеносной системы (кровь движется из области высокого давления в область низкого). Зависит от сопротивления току крови стенок сосудов и вязкости самой крови. Одним из наиболее важных показателей гемодинамики принято считать минутный объем кровообращения.[12][13]

При изменении положения тела в пространстве возникает гемодинамическое перераспределение, которое существенно влияет на ЧСС. Например, при положении стоя крови приходится преодолевать значительно большее сопротивление нежели в положении лежа.

Был проведен ряд экспериментов [Приложение 2], заключающихся в изменении положения тела через равные промежутки времени для выделения закономерности.

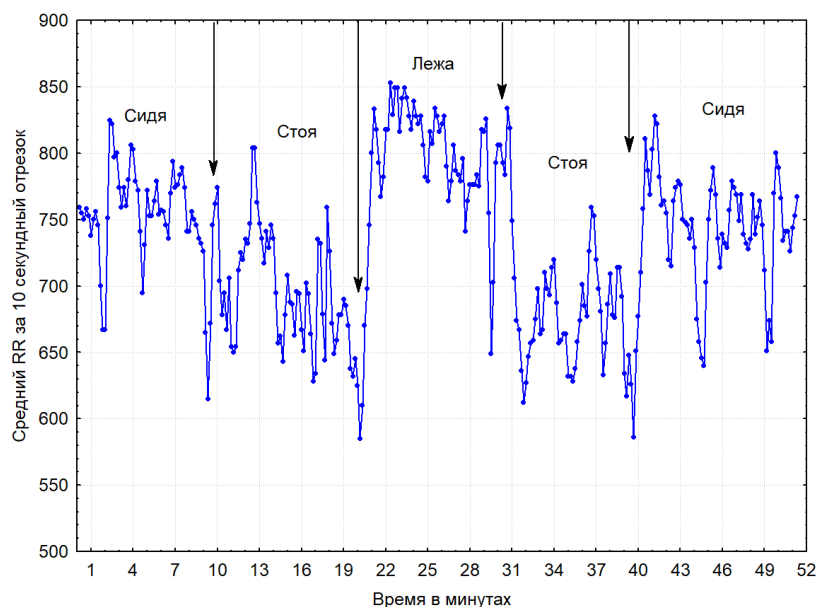


Рисунок 27 – Результат одного из экспериментов

На графике отчетливо видно, что изменения пульса при смене положения весьма существенны.

Лучше всего такие изменения заметны во время сна, так как система находится в расслабленном состоянии и более подвержена резким изменениям, т.е. изменения зависят от текущего уровня напряжения функционирования ССС который постоянно меняется в течение суток.

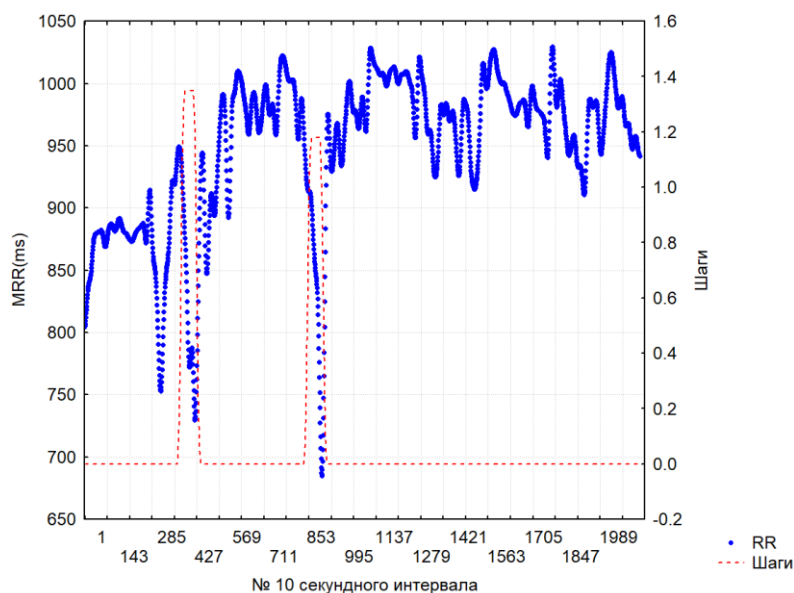


Рисунок 28 – Ночные вставания для одной ночи

На данных графиках шаги указывают на периоды изменения положения тела с лежачего в стоячий.

3.6 Вариации RR интервалов во время сна

Сон рассматривается как наиболее характерное проявление ультрадианной ритмики - циклическая смена фаз сна

Здесь мы можем наблюдать средние уровни RR с доверительными интервалами для каждой фазы сна за месяц. Мы можем предполагать, что это правило для разделения фаз сна по периодам RR сокращений для алгоритма, используемого в МИ БАНДЕ т.е. мы можем учитывать эту интерпретацию при изучении внешних факторов

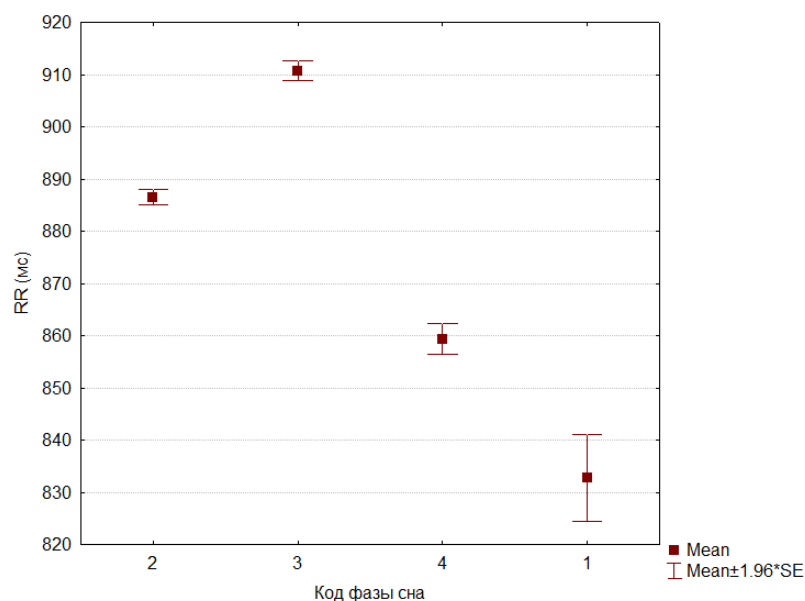


Рисунок 29 - Данные времени RR интервалов сгруппированные по фазам сна

Где фаза 1 это период бодрствования во время сна, фаза 2 это быстрый сон, фаза 3 это глубокий сон, фаза 4 это фаза БДГ.

Далее рассмотрим более подробно.

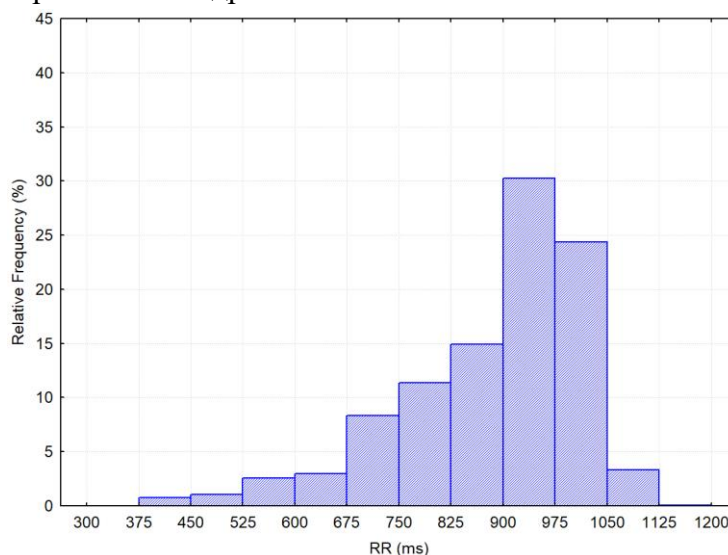


Рисунок 30 – Гистограмма распределения RR интервалов для стадии быстрого сна

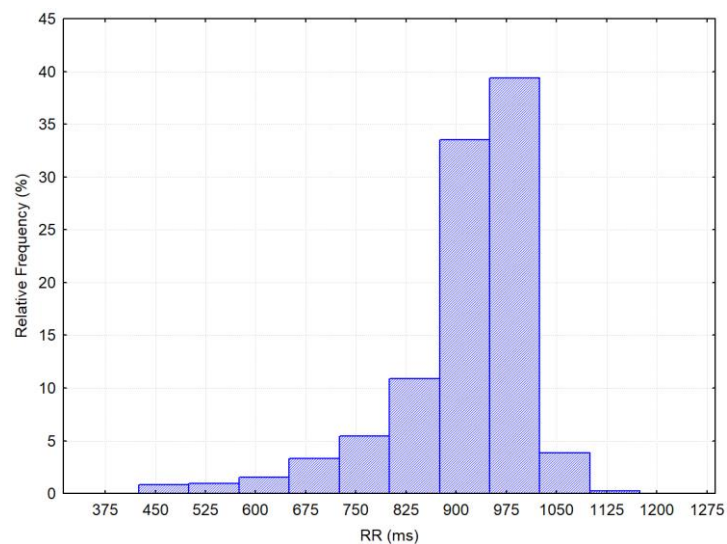


Рисунок 31 – Гистограмма распределения RR интервалов для стадии медленного сна

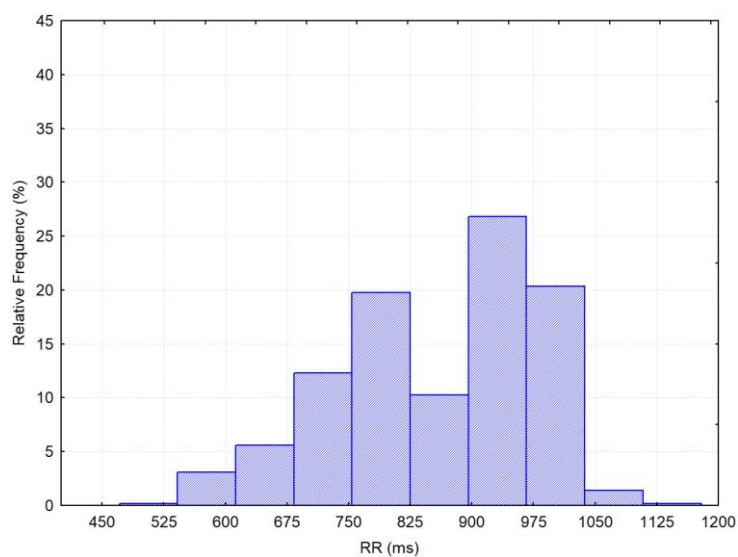


Рисунок 32 – Гистограмма распределения RR интервалов для стадии БДГ

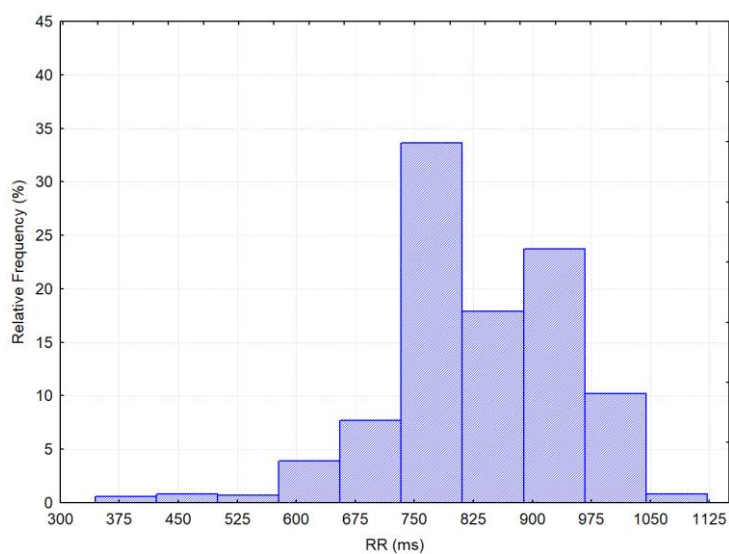


Рисунок 33 – Гистограмма распределения RR интервалов для активности во время сна

Как видно из представленных гистограмм распределения стадии сна имеют разные уровни функционирования и соответственно RR интервалы варьируются по-разному. Более подробные данные представлены в Приложении 3

Таблица 1 – Средне месячная длительность фаз

	Кол-во точек	Сред (мин)	Conf - 95%	Conf 95	Медиана (мин)	Мин (мин)	Макс (мин)	Ст. Откл. (мин)
Длит. Быстр.	31	261.9032	224.3351	299.4714	287.0000	24.00000	460.0000	102.4205
Длит. Глуб.	29	95.9310	81.9432	109.9189	93.0000	15.00000	178.0000	36.7734
Длит. БДГ	29	93.6552	72.4689	114.8414	83.0000	30.00000	240.0000	55.6977

Зная продолжительности фаз сна по большой выборке значений, мы можем определить их независимый вклад в предсказание зависимой переменной, в нашем случае для всей продолжительности сна, при помощи уравнения множественной регрессии:

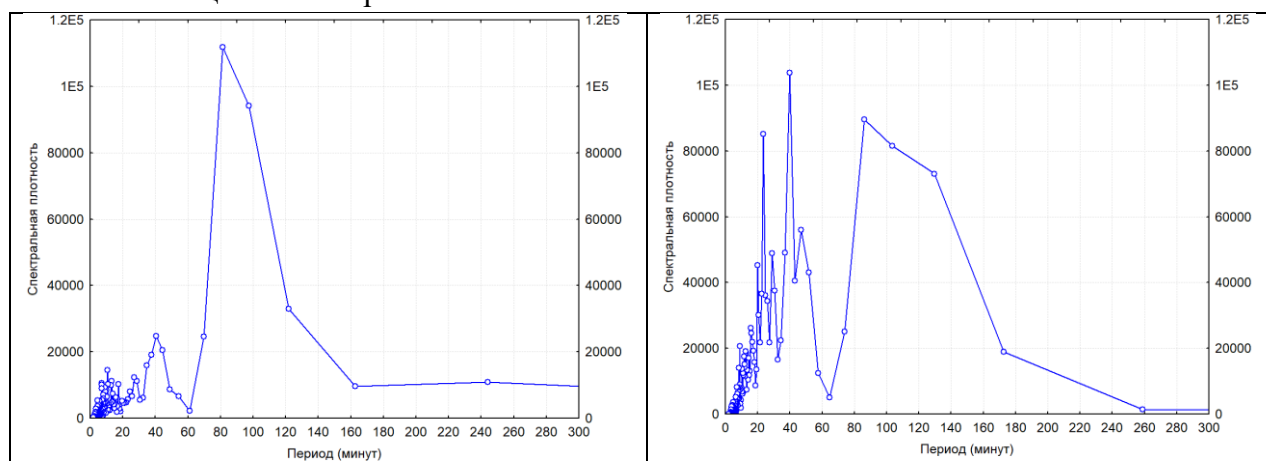
$$Y = 0.693 * t_{\text{быстр}} + 0.397 * t_{\text{медл}} + 0.744 * t_{\text{БДГ}},$$

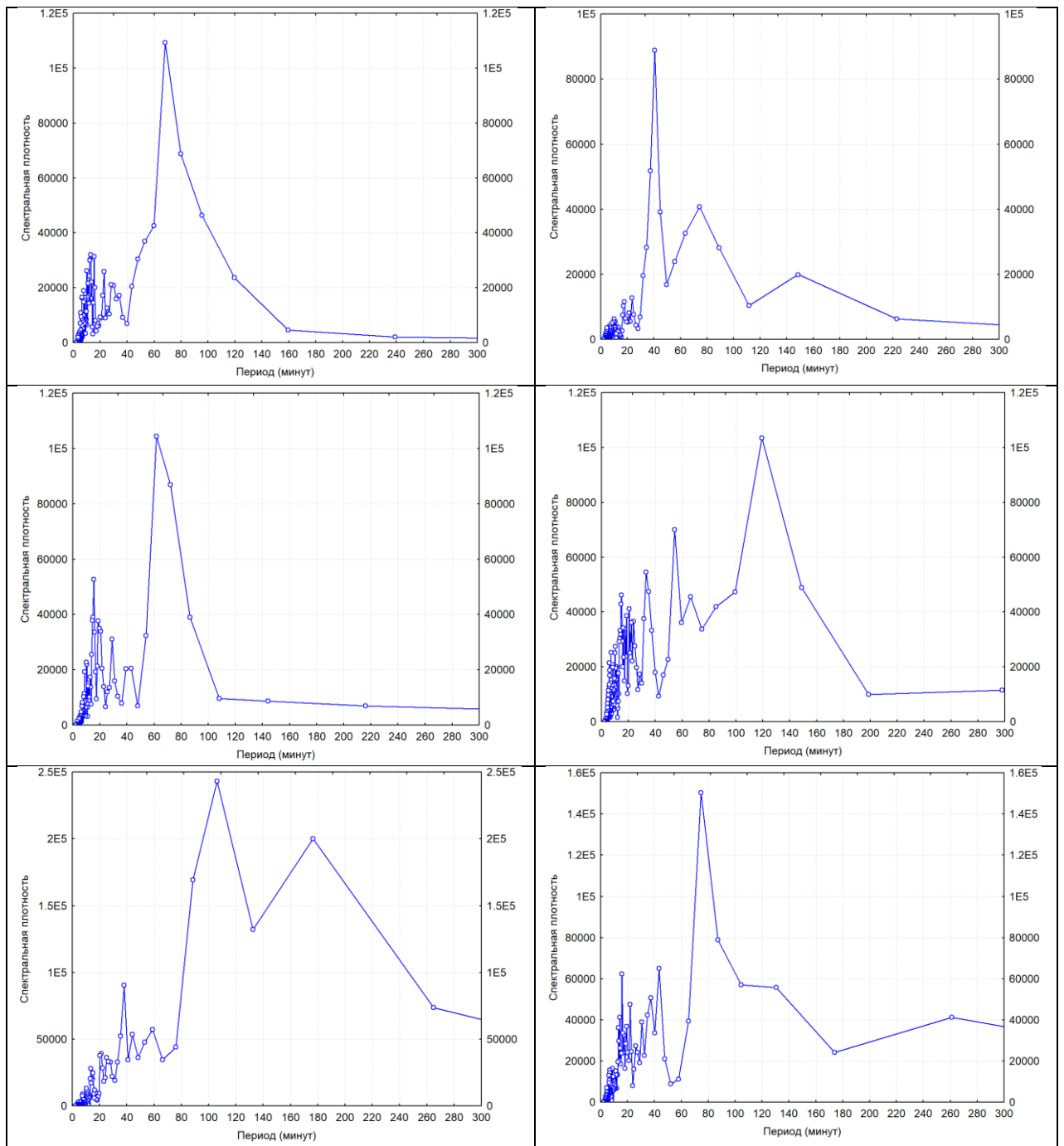
Где среднестатистические параметры коэффициентов регрессии за 30 суток при длительностях соответствующих фаз отражают баланс фаз во время сна для конкретного человека.

3.7 Выявление базового цикла активности - покоя

Спектральный анализ по периоду бодрствования и сна проводился для анализа для анализа ультрадианных составляющих вариаций RR интервалов для этого из данных были удалены низкочастотные тренды, а в дневных данных также были удалены вариации, связанные с двигательной активностью.

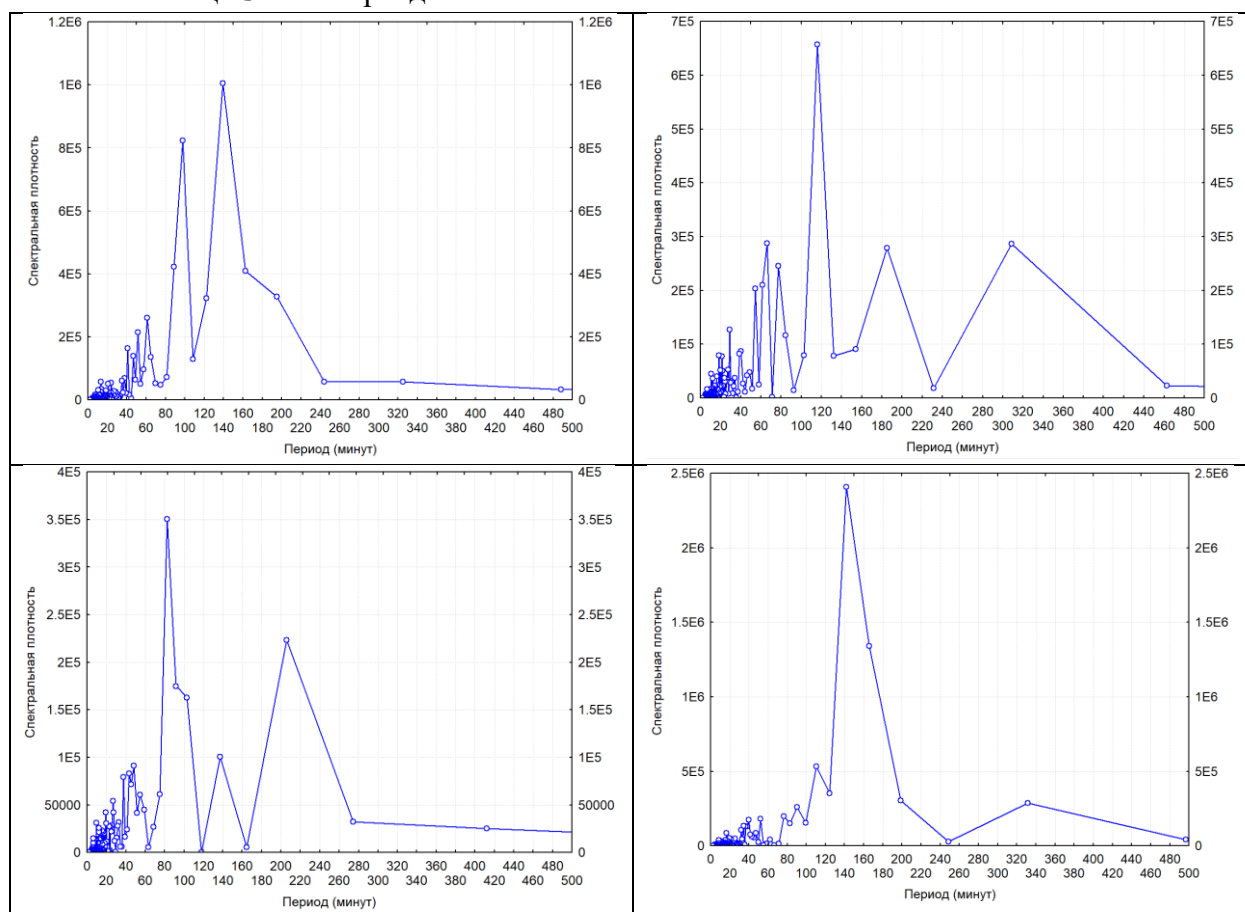
Таблица 2 – спектры по снам





Как видно основные моды спектра лежат в области от 45 до 120 минут, что указывает на ультрадианный ритм.

Таблица 3 – спектры для активности



Если же рассматривать спектры для периодов активности, то мы также можем видеть моды в этом диапазоне, но уже с более размытым периодом за счет большого количества модулирующих факторов во время бодрствования.

Было выявлено наличие инвариантной максимальной по амплитуде периодической составляющей для ночного и дневного и периодов времени. Это составляющая лежит в диапазоне от 45 до 120 минут. Ее можно однозначно связать с известным базовым циклом активности - покоя (см. раздел 1.8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты заключаются в следующем:

- 1) На основе сравнения с сертифицированным медицинским прибором доказана принципиальная возможность использования современных гаджетов в научных исследованиях экологической направленности.
- 2) Накоплена база данных в результате непрерывного измерения ЧСС и двигательной активности в течение 120 суток
- 3) Определены закономерности вариаций периода сердечных сокращений, характеризующие эндогенные факторы, необходимые для возможной оценки влияния экзогенных факторов на существенные переменные ССС и определены параметры их сопряженности.
- 4) Основными выделенными эндогенными факторами являются:
 - Особенности индивидуальной циркадианной ритмики;
 - Двигательной активностью в совокупности с перераспределением гемодинамического давления;
 - Смена фаз сна, соответствующих разным уровням напряженности функционирования ССС;
 - Инвариантное проявление в вариациях периодов сердечных сокращений в фазах сна и бодрствования базового цикла активности - покоя с периодом 45 - 120 минут.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шмидт Р., Тевс Г. Физиология человека. - М.: «Мир», 1996. Т. 2. 640 с
2. Вариабельность сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование. (Текст научной статьи по специальности “Клиническая медицина” (Бокерия Л. А., Бокерия О. Л., Волковская И. В.).
3. Комплекс программ обработки данных мониторинга функционального состояния организма человека (Учебно-методическое пособие).
4. Ашофф Ю.А. Биологические ритмы. – М.: «Мир», 1996. Т.1. 414 с.
5. Электрокардиография (ЭКГ) [Электронный ресурс] — URL: <https://docplayer.ru/39741522-Elektrokardiografiya-ekg-uchenyh-r-kelliker-i-imyuller-v-1856-godu-oni-proveli-issledovaniya-na-razlichnyh-zhivotnyh.html>
6. Электронный ресурс – URL: <https://ria.ru/20211029/saturatsiya-1756714922.html>
7. Электронный ресурс – URL: <https://studfile.net/preview/6444943/page:9/>
8. Суточное мониторирование ЭКГ. Дабровски А., Дабровски Б., Пиотрович Р. 2000г.
9. Электронный ресурс – URL: <https://www.beloveshkin.com/2018/04/90.html>
10. Электронный ресурс – URL: <https://rosuchebnik.ru/material/biologicheskie-ritmy-cheloveka/>
11. Монитор ЭКГ холтеровский компьютеризированный носимый Валента® Инструкция по медицинскому применению МН-02-5 ИП.
12. Физиология человека / под редакцией профессора В. М. Смирнова. — 1-е издание. — М.: Медицина, 2002. — 608 с.
13. Фундаментальная и клиническая физиология / под ред. А. Камкина, А. Каменского. — М.: Academia, 2004. — 1072 с.
14. Макаров Л. М. Особенности вариабельности циркадного ритма сердца в условиях свободно активности / Л. М. Макаров // Физиология человека. 1998. Т. 24, № 2. С. 56-62.
15. Шмидт Р., Тевс Г. Физиология человека. - М.: «Мир», 1996. Т. 1. 247 с
16. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З., Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. – М.: Наука, 1984. – 240 с.
17. Методы выделения R – зубца электрокардиосигнала и математическая обработка последовательности RR – интервалов – URL: [Методы выделения R-зубца электрокардиосигнала и математическая обработка последовательности RR-интервалов. Реферат. Медицина, физкультура, здравоохранение. 2013-08-17 \(bibliofond.ru\)](https://bibliofond.ru/2013-08-17)
18. Дическул, Маргарита Леонидовна диссертация ... кандидата медицинских наук – URL: <http://dlib.rsl.ru>

Приложение 1

Данные предоставляемые программами для обработки и приведение к эквидистантному виду

```
nf;tnF;kF;tkF;typeF;dIF;kodF;mRRf;medRRf;sqrRRf;razmRRf;MinRR;MaxRR;nnRRf
1653663060000;27.05.2022;21:51:00;1653668100000;27.05.2022;23:15:00;quick;84;2;1104;1143;103;465;759;1224;84
1653668100000;27.05.2022;23:15:00;1653669060000;27.05.2022;23:31:00;deep;16;3;1223;1224;25;101;1176;1277;16
1653669060000;27.05.2022;23:31:00;1653670440000;27.05.2022;23:54:00;quick;23;2;1291;1304;72;304;1091;1395;23
1653670440000;27.05.2022;23:54:00;1653673980000;28.05.2022;00:53:00;deep;59;3;1295;1304;46;219;1176;1395;57
1653673980000;28.05.2022;00:53:00;1653677580000;28.05.2022;01:53:00;quick;60;2;1264;1304;95;378;1017;1395;60
1653677580000;28.05.2022;01:53:00;1653680580000;28.05.2022;02:43:00;sleepless;50;1;1055;1071;155;763;632;1395;196
1653680580000;28.05.2022;02:43:00;1653681540000;28.05.2022;02:59:00;quick;16;2;1235;1250;127;604;896;1500;295
1653681540000;28.05.2022;02:59:00;1653684960000;28.05.2022;03:56:00;deep;57;3;1376;1395;75;600;938;1538;879
1653684960000;28.05.2022;03:56:00;1653685920000;28.05.2022;04:12:00;quick;16;2;1345;1395;123;562;938;1500;266
1653685920000;28.05.2022;04:12:00;1653691800000;28.05.2022;05:50:00;deep;98;3;1432;1463;111;810;857;1667;1474
1653691800000;28.05.2022;05:50:00;1653692880000;28.05.2022;06:08:00;REM;18;4;1286;1333;135;591;909;1500;328
1653692880000;28.05.2022;06:08:00;1653698700000;28.05.2022;07:45:00;deep;97;3;1399;1429;106;797;870;1667;1505
1653698700000;28.05.2022;07:45:00;1653706080000;28.05.2022;09:48:00;REM;123;4;1215;1277;201;802;698;1500;140
1653706080000;28.05.2022;09:48:00;1653708060000;28.05.2022;10:21:00;quick;33;2;1164;1224;163;550;845;1395;33
```

Общие данные по фазам

nf – начало фазы;
tnF – начало фазы по времени;
kf – конец фазы;
tkF – конец фазы по времени;
typeF – название фазы;
dIF – длительность фазы;
kodF – код (соответствующий фазе сна);
mRRf – среднее значение (мс);
medRRf – медиана;
sqrRRf – стандартное отклонение;
razmRRf – размах (разность между максимальным значением периода и минимальным за конкретную фазу);
MinRR – Минимальное значение периода между RR (мс);
MaxRR – максимальное значение;
nnRRf – количество зарегистрированных за период интервалов;

Далее идет агрегация пульса по минуте в период сна:

```
indt;mrr;dr;sr;nn
1653663060;909;0;0;1
1653663120;938;0;0;1
1653663180;964;0;0;1
1653663240;972;0;0;1
1653663300;960;0;0;1
1653663360;952;0;0;1
1653663420;964;0;0;1
1653663480;988;0;0;1
1653663540;1000;0;0;1
```

Таблица агрегированных данных

Далее количество зарегистрированных RR для каждой фазы (это необходимо для нахождения разницы между фазами (понять, что их характеризует и отличает друг от друга) в пакете статистика:

```

SummRR;QuickRR;DeepRR;RemRR;LessRR;ActRR
909;909;1224;1304;1250;
938;938;1224;1333;1034;
968;968;1200;1364;968;
984;984;1176;1395;1071;
952;952;1200;1395;1017;
952;952;1224;1111;882;
952;952;1224;1017;923;
1000;1000;1224;1017;1034;
1000;1000;1250;1333;1034;
1000;1000;1200;1333;1111;
759;759;1250;1304;1132;
870;870;1224;1277;1071;
1053;1053;1224;1250;938;
1111;1111;1200;1224;1053;
1132;1132;1250;1224;1091;
1176;1176;1277;1250;1250;
1000;1000;1304;1277;1200;
1111;1111;1333;1304;1154;
1132;1132;1304;1333;1111;
1154;1154;1304;1364;984;
1176;1176;1333;1395;882;
1176;1176;1304;1333;1091;
1176;1176;1364;1429;1053;

```

Количество зарегистрированных RR для каждой фазы

Тут пошло объединение для каждой фазы:

```

TypeF;kodF;DlitF;NnF;mRRf;medRRf;sqrRRf;razmRRf;minRRf;maxRRf;nnRRf
Summary;6;750;14;1358;1395;148;1035;632;1667;5356
sleepless;1;50;1;1055;1071;156;763;632;1395;196
quick;2;228;6;1260;1277;144;741;759;1500;761
deep;3;324;5;1404;1429;105;810;857;1667;3931
REM;4;140;2;1264;1304;163;802;698;1500;468
activity;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0

```

Объединенные данные для каждой фазы

DlitF – длительность фазы;

Nnf – число фаз за весь период;

Данные за весь сон (полная интегральная характеристика сна)

```

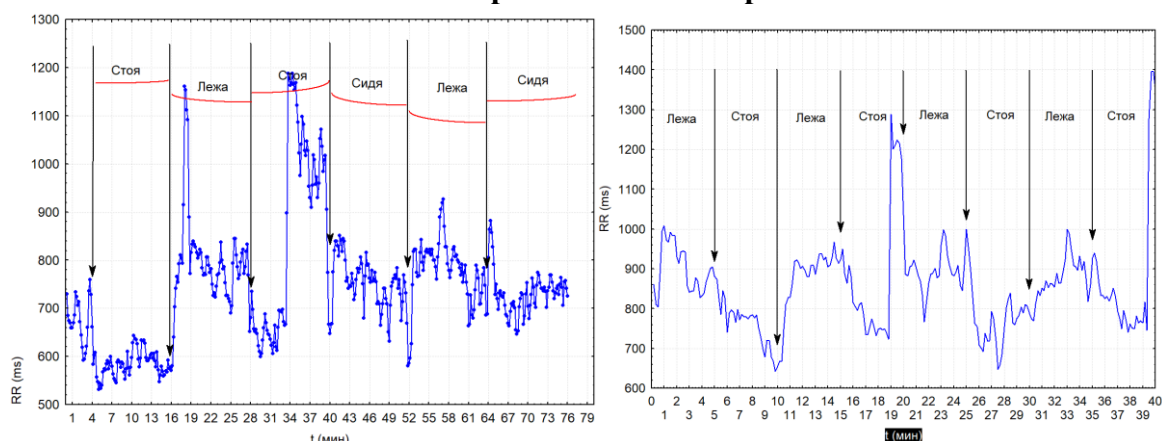
DGod;DMons;DDay;TNh;TNm;TKh;TKm;DayW;Turn;minRRf;maxRRf;razmRRf;nnRRf
22;05;27;21;51;10;22;5;29;Summary;6;750;14;1358;1395;148;1035;632;1667;5356

```

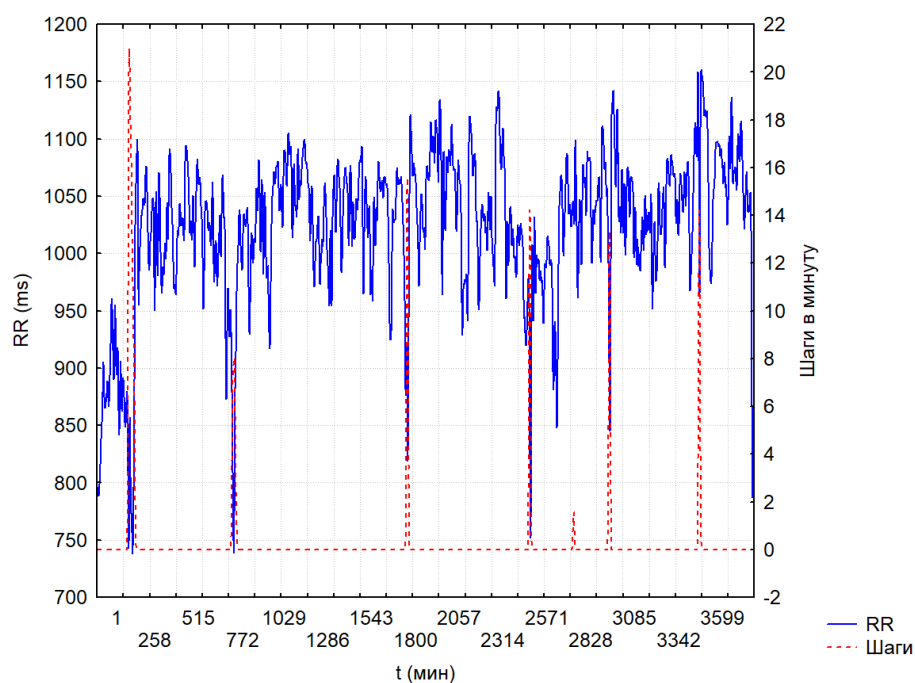
Данные за весь сон

Приложение 2

Ортостатические пробы



Ортостатические пробы для дня



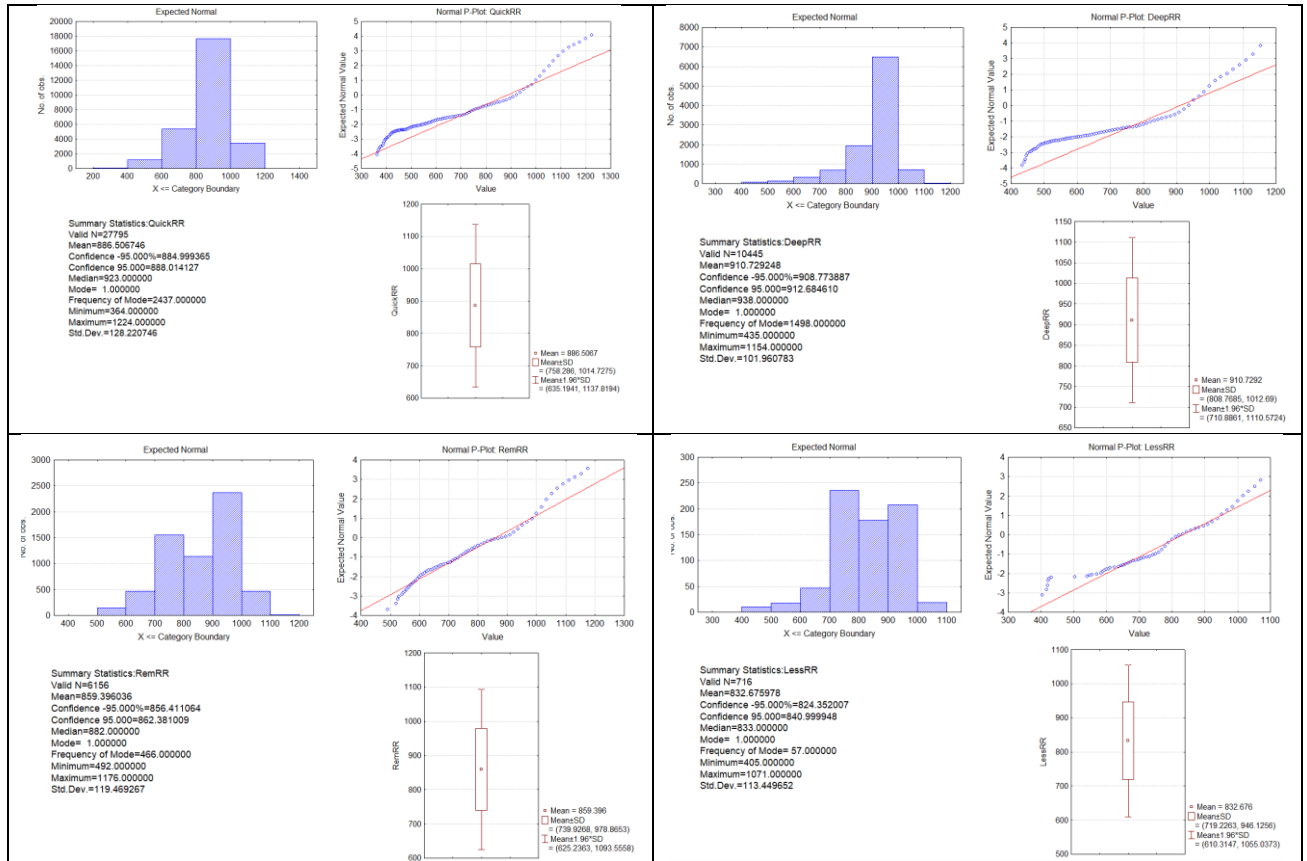
Ночные вставание на протяжении месяца

Приложение 3

Подробная статистика по суткам

Variable	Descriptive Statistics										
	Valid N	Mean	Confidence -95.000%	Confidence 95.000	Median	Mode	Frequency of Mode	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Standard Error
RR (сутки)	13332	831.5044	829.0736	833.9351	809.0000	767.0000	78	178.0000	1174.000	143.2005	1.240215
RR (день)	26031	753.9143	752.6273	755.2012	754.0000	845.0000	351	352.0000	1157.000	105.9396	0.656618
RR (ночь)	14298	974.5155	972.8761	976.1549	989.0000	1058.000	166	421.0000	1236.000	100.0166	0.836439
Sigma (сутки)	12818	46.42542	45.82534	47.02550	38.00000	19.00000	286	3.000000	377.0000	34.66352	0.306170
Sigma (день)	11619	29.83269	29.44996	30.21541	25.00000	17.00000	392	2.000000	365.0000	21.04862	0.195272
Sigma (ночь)	8424	33.16465	32.51067	33.81863	23.00000	16.00000	318	2.000000	251.0000	30.62050	0.333621

Подробная статистика по стадиям сна



СПРАВКА

Томский Государственный Университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Пахнюк Никита Васильевич
Самоцитирование
рассчитано для: Пахнюк Никита Васильевич
Название работы: ВКР Пахнюк 071907
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение:

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ 33.44%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ 63.77%
ЦИТИРОВАНИЯ 2.79%
САМОЦИТИРОВАНИЯ 0%

СОВПАДЕНИЯ 26.34%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ 70.87%
ЦИТИРОВАНИЯ 2.79%
САМОЦИТИРОВАНИЯ 0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 09.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 09.06.2023 07:30

Структура документа:

Проверенные разделы: основная часть с.2-5, 7-39, приложение с.41-44

Модули поиска:

ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley ; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Лапутенко Андрей Владимирович

ФИО проверяющего

Дата подписи: 09-06-2023



Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.