

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра медицинской физики

**АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

**АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ВАРИАбельНОСТИ РИТМОВ СЕРДЦА ДО И  
ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ПРОБЫ**

студента 2 курса 2221 группы

направления 03.04.02 «Физика», профиль «Медицинская физика»

код и наименование направления

института физики

наименование факультета, института

Якименко Никиты Сергеевича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

 22.06.2023  
подпись, дата

С.Ю. Доблин  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

 22.06.23  
подпись, дата

Ан.В. Скрипаль  
инициалы, фамилия

Саратов 2023 г.

## ВВЕДЕНИЕ

По данным Всемирной организации здравоохранения, сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются самой большой причиной смертности во всем мире. В последние годы было сделано устойчивое развитие для снижения воздействия сердечной заболеваемости. С этой целью электрокардиограмма (ЭКГ) стала наиболее широко используемым биосигналом для раннего выявления сердечно-сосудистых заболеваний.

Электрокардиографический сигнал может дать информацию о вариабельности ритма сердца (ВРС). ВРС (Heart Rate Variability - HRV) анализ позволяет оценить и качество “здоровья” здорового человека, и уровень тренированности спортсмена. Физиологически это обосновано тем, что абсолютно все органы и системы нашего организма находятся под постоянным нервно-гуморальным контролем. Тесный симбиоз симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы и гуморальных влияний обеспечивает достижение оптимальных результатов в плане адаптации к изменяющимся условиям внутренней и внешней среды.

Отклонения, возникающие в регулирующих системах, предшествуют гемодинамическим, метаболическим, энергетическим нарушениям и, следовательно, являются наиболее ранними прогностическими признаками неблагополучия пациента. Сердечный ритм является индикатором этих отклонений, а потому исследование вариабельности ритма сердца имеет важное прогностическое и диагностическое значение при заболеваниях сердечно-сосудистой системы [1 - 3].

Объект исследования: сердечно-сосудистая система человека.

Предмет исследования: изучение реакции сердечно-сосудистой системы на тепловую пробу с помощью электрокардиографии и анализа показателей variability ритма сердца.

**Цель работы:** определить изменение параметров variability ритмов сердца до и после проведения тепловой пробы.

**Поставленные задачи:**

- 1) Провести критический анализ методов диагностики сердечно-сосудистой системы.
- 2) Разработать методику анализа параметров variability ритма сердца до и после проведения тепловой пробы.
- 3) Провести экспериментальное исследование, позволяющее по ЭКГ сигналу рассчитать параметры ВРС при проведении тепловой пробы.

**Структура и объем работы:** работа состоит из введения, 2-х глав, 8-ми разделов, 13-ти подразделов, заключения, списка использованных источников и приложения А. Работа изложена на 50-ти страницах машинописного текста, содержит 17 рисунков, 11 таблиц и список литературы из 20 наименований. Приложение А содержит 1 таблицу.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе работы приведены теоретические основы электрокардиографии, физиологические основы variability ритма сердца (BPC) и методы BPC анализа. В первой главе описывается применение методов BPC анализа и приведен раздел, посвященный оценке показателей BPC.

Среди методов анализа variability ритма сердца выделяют статистические и частотные методы. **Статистические методы** применяются для непосредственной количественной оценки variability сердечного ритма в исследуемый промежуток времени. При их использовании кардиоинтервалограмма рассматривается как совокупность последовательных временных промежутков – RR-интервалов (рисунок 1) [13, 15]. Данные методы основываются на анализе изменений длительности R-R интервалов между комплексами QRS нормальных кардиоциклов NN (normal-normal) с вычислением различных коэффициентов (таблица 1).

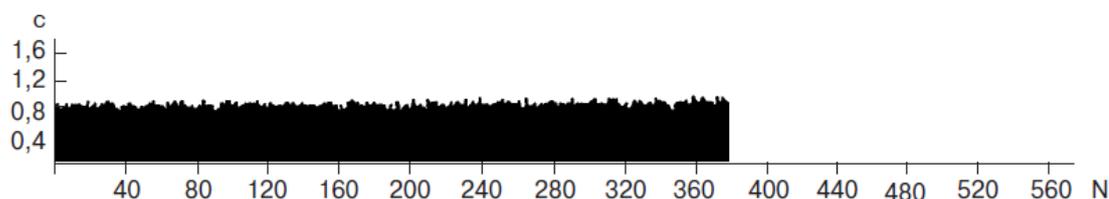


Рисунок 1 – Кардиоинтервалограмма

Таблица 1 - Основные показатели временного анализа BPC

Показатель	Пояснение	Функциональное значение
ЧСС (HR), уд/мин	Частота сердечных сокращений	Средний уровень функционирования системы кровообращения и ВНС
RR, мс	Средняя длительность RR-интервала	
SDNN, мс	Стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов	Суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения
RMSSD, мс	Квадратный корень суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов	Активность парасимпатического звена вегетативной регуляции
pNN50, %	Число пар кардиоинтервалов с разностью более 50 мс в % к общему числу кардиоинтервалов в записи	Показатель степени преобладания парасимпатического звена регуляции над симпатическим (относительное значение)

**Частотные методы** ВРС анализа представляют собой спектральный анализ электрокардиограммы (рисунок 2). Он позволяет обнаружить периодические составляющие в колебаниях сердечного ритма и оценить количественно их вклад в динамику ритма.

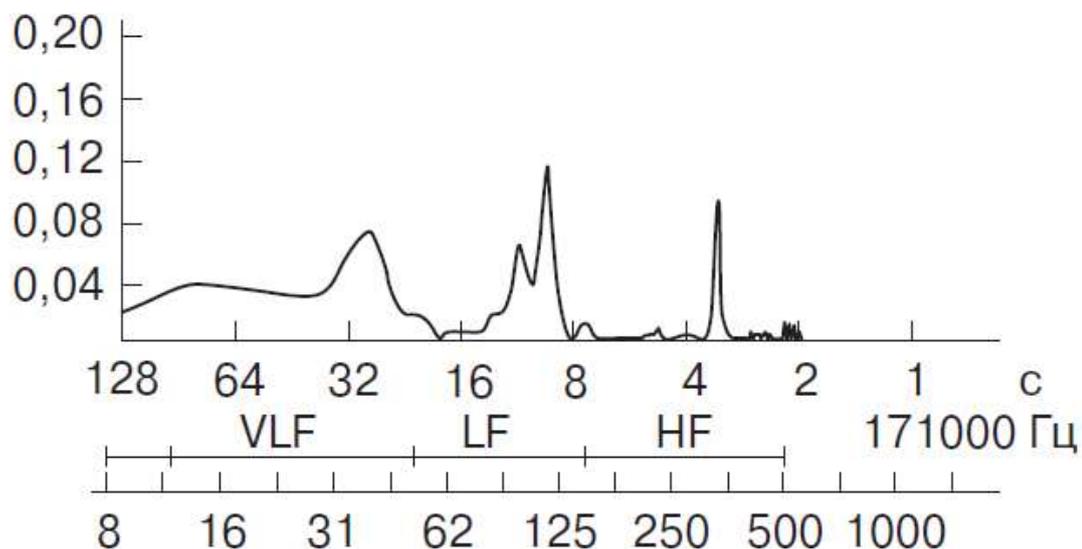


Рисунок 2 – Частотный анализ электрокардиограммы

Частотный анализ ВРС производится с использованием следующих коэффициентов (таблица 2) [1, 14].

Таблица 2 - Основные показатели частотного анализа ВРС

Показатель	Пояснение	Функциональное значение
Total power, мс²	Общая мощность спектра ( $\leq 0,4$ Гц)	Общий показатель variability кардиоинтервалов за выбранный промежуток времени
VLF, мс²	Мощность очень медленных волн ( $< 0,04$ Гц)	Гормональные, метаболические влияния и воздействие высших отделов головного мозга на ритм сердца
LF, мс²	Мощность медленных волн (от 0,04 до 0,15 Гц)	Симпатические влияния на ритм сердца и барорецепторные механизмы
LF, nu	То же, в нормализованных единицах	—
HF, мс²	Мощность высокочастотных (дыхательных) волн (от 0,15 до 0,4 Гц)	Парасимпатические влияния на ритм сердца (дыхательные волны)
HF, nu	То же, в нормализованных единицах	—
LF/HF	Соотношение медленных и высокочастотных волн в спектре ритма сердца	Баланс симпатических и парасимпатических влияний на ритм сердца

**Вторая глава** работы содержит материалы и методы исследования, результаты исследования и полученные выводы.

**Материалы и методы.** Для изучения влияния тепловой пробы на организм человека проводилась запись ЭКГ сигнала в состоянии покоя и после тепловой пробы. Длительность записи сигнала составляла пять минут. Запись сигнала проводилась с помощью прибора Поли-Спектр-8/Е (рисунок 3). После получения ЭКГ сигнала в состоянии покоя проводилась тепловая проба. Разогретую грелку помещали в области трапецевидной мышцы в течении 15 минут. После этого записывался ЭКГ сигнал. Прибор Поли-Спектр-8/Е по интерфейсу USB подключался к персональному компьютеру с установленным программным обеспечением для электрокардиографа - Поли-Спектр 4.7. Сигналы оцифровывались с частотой - 2000 Гц. Экспериментальная установка представлена на рисунке 4.



Рисунок 3 – Электрокардиограф Поли-Спектр-8/Е



Рисунок 4 – Вид экспериментальной установки

Анализ полученных электрокардиограмм (рисунок 5) проводился в среде Anaconda с python3. Перед проведением анализа ЭКГ сигнал был нормализован. После этого осуществлялась фильтрация сигнала (рисунок 6) с помощью библиотеки BioSPPy [19]. Обнаружение R-пиков осуществлялось с помощью библиотеки py-ecg-detectors [12]. Для регистрации R-пиков использовался детектор Пана и Томпкинса. На рисунке 9 продемонстрирована регистрация R-пиков. Для анализа variability ритма сердца обработанные сигналы анализировались с помощью модуля hrv [12].

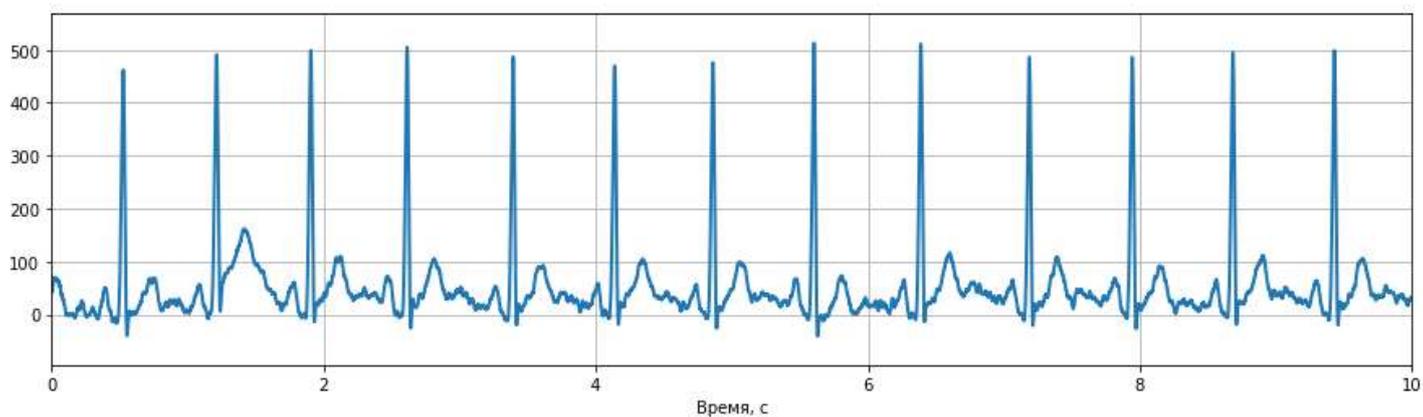


Рисунок 5 – Исходный сигнал электрокардиограммы

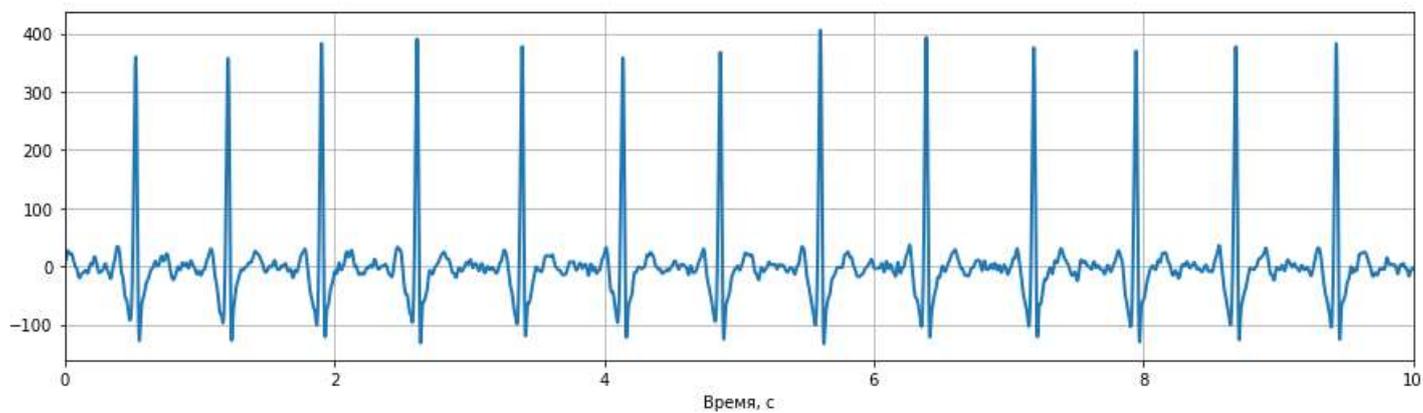


Рисунок 6 – ЭКГ сигнал после фильтрации

**Результаты исследования.** В ходе работы были получены обработанные сигналы в состоянии покоя (рисунок 7) и после тепловой пробы (рисунок 8).

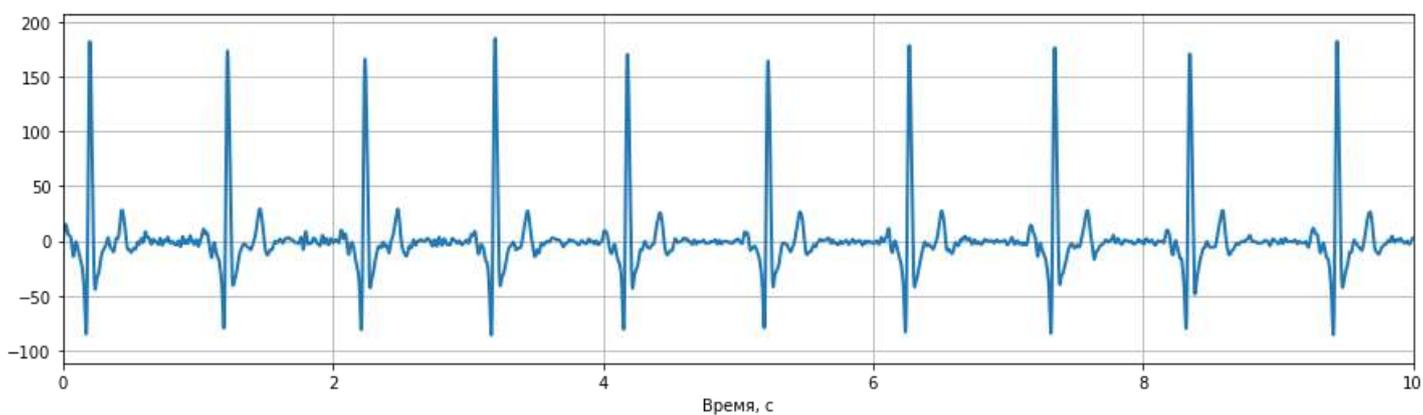


Рисунок 7 – Электрокардиограмма в состоянии покоя

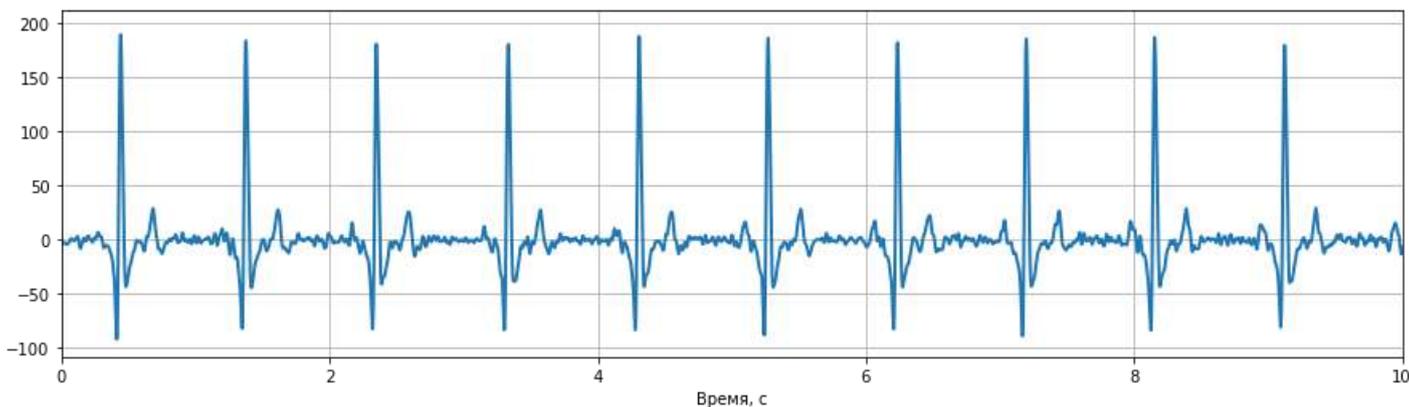


Рисунок 8 – Электрокардиограмма после тепловой пробы

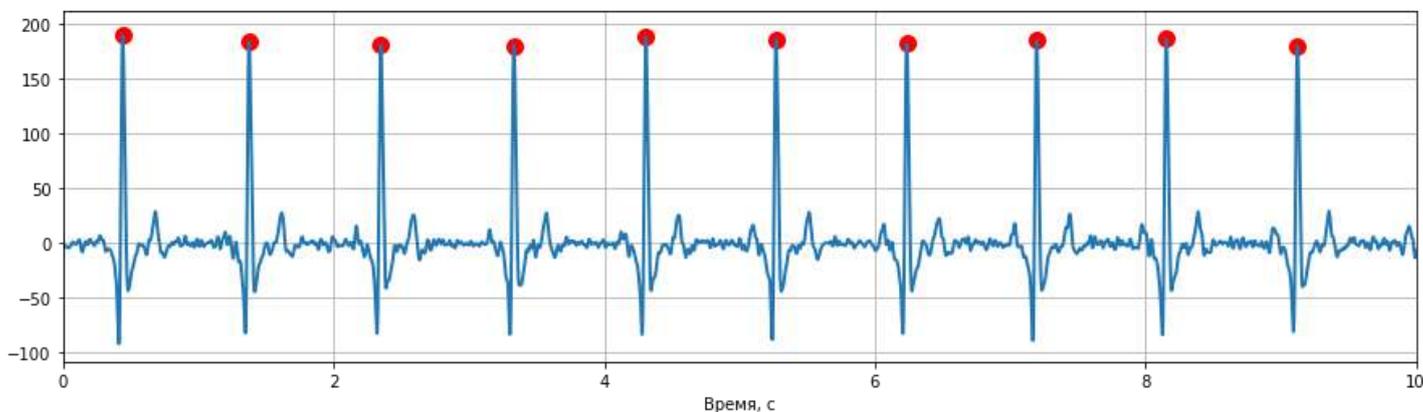


Рисунок 9 – Результат обнаружения R-пиков

Обнаруженные детектором R-пики использовались в дальнейшем для анализа variability ритма сердца. В результате ВРС анализа были получены следующие показатели: HR, NN20, NN50, RMSSD, SDNN, LF/HF, PNN20, PNN50 (см. описание в таблицах 1, 2). В трех стандартных отведениях: в состоянии покоя и после тепловой пробы; для 6 обследуемых. В таблицах 3-5 представлены показатели variability ритма сердца в 3-х стандартных отведениях (данные одного из обследуемых).

Таблица – 3 Variability ритма сердца в I стандартном отведении

Состояние	Коэффициенты							
	HR	SDNN	LF/HF	PNN50%	PNN20%	NN50	NN20	RMSSD
Покоя	89	44,9	1,5	23	67	103	296	42,1
После пробы	88	49,0	2,1	18	55	77	240	38,4
Изм. (%)	-1	9	40	-24	-18	-25	-19	-9

Таблица – 4 Вариабельность ритма сердца в II стандартном отведении

Состояние	Коэффициенты							
	HR	SDNN	LF/HF	PNN50%	PNN20%	NN50	NN20	RMSSD
Покоя	89	47,5	1,4	32	69	143	307	49,8
После пробы	88	51,1	2,1	28	62	123	268	49,6
Изм. (%)	-1	8	50	-13	-11	-14	-13	0

Таблица – 5 Вариабельность ритма сердца в III стандартном отведении

Состояние	Коэффициенты							
	HR	SDNN	LF/HF	PNN50%	PNN20%	NN50	NN20	RMSSD
Покоя	89	50,5	1,1	37	61	162	268	56,7
После пробы	88	59,1	1,1	42	68	184	297	66,4
Изм. (%)	-1	17	0	15	12	14	11	17

Было рассчитано среднее значение полученных показателей между тремя отведениями. Для каждого испытуемого было вычислено относительное изменение полученных коэффициентов. В таблицах 6, 7 представлены средние показатели вариабельности ритма сердца для нескольких обследуемых.

Таблица – 6 Средние значения показателей вариабельности сердечного ритма

Состояние	Коэффициенты							
	HR	SDNN	LF/HF	PNN50%	PNN20%	NN50	NN20	RMSSD
Покоя	89	47,6	1,3	31	66	136	290	49,5
После пробы	88	53,1	1,8	29	62	128	268	51,5
Изм.	-1%	11%	33%	-5%	-6%	-6%	-8%	4%

Таблица – 7 Средние значения показателей вариабельности сердечного ритма

Состояние	Коэффициенты							
	HR	SDNN	LF/HF	PNN50%	PNN20%	NN50	NN20	RMSSD
Покоя	84	53,5	0,9	13	42	54	176	47,3
После пробы	81	44,5	1,6	8	41	31	163	39,7
Изм.	-4%	-17%	88%	-41%	-3%	-44%	-7%	-16%

После этого было рассчитано среднее изменение показателей ВРС между всеми испытуемыми (рисунок 10).

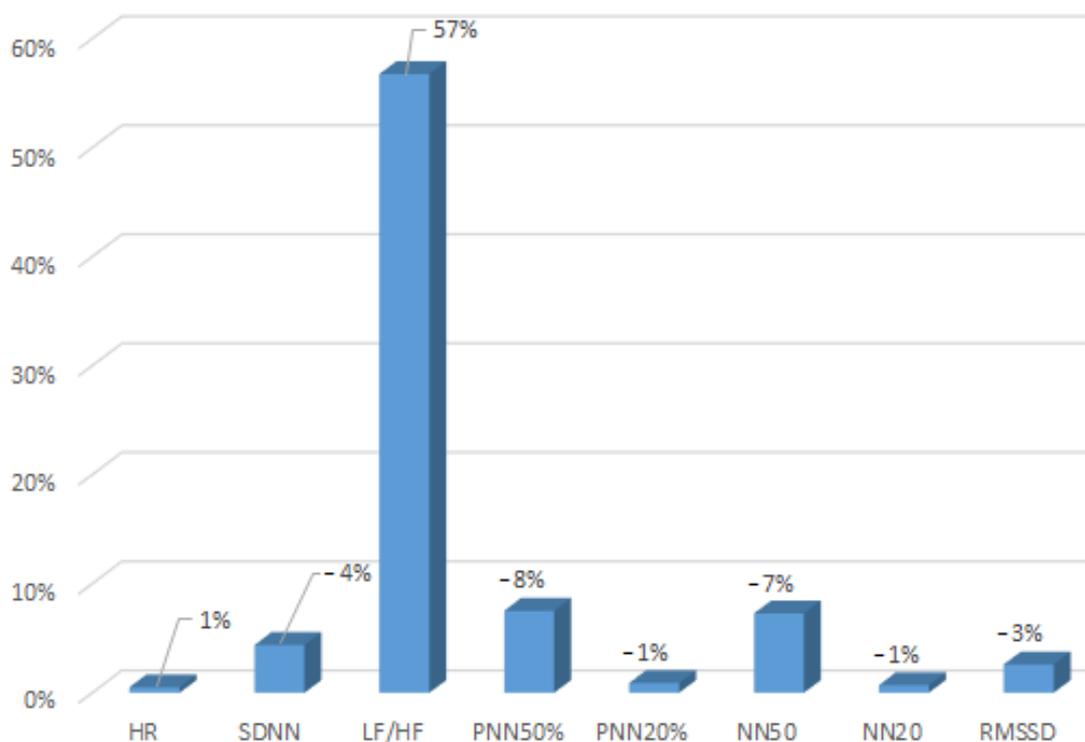


Рисунок 10 – Изменение коэффициентов ВРС после тепловой пробы

На рисунке 10 видно, что после тепловой пробы показатель SDNN в среднем уменьшается на 4%. Показатель LF/HF увеличивается на 57%. Показатель PNN50% уменьшается на 8%. NN50 - уменьшается на 7%. Показатели HR, PNN20%, NN20, RMSSD, SDSD в среднем, изменяется незначительно – от 1 до 3 % после тепловой пробы.

Согласно [1], нормальные значения показателей variability ритма сердца следующие (таблица 8). Эти значения были использованы для расчёта среднего расстояния показателей до и после тепловой пробы относительно нормального интервала среди всех испытуемых (рисунок 11).

Таблица 8 – Нормативные величины показателей ВРС

Показатель	Значение
SDNN	54.5 - 65.1
LF/HF	1.5 - 2.0
PNN50%	16.0 - 26.2
RMSSD	36.3 - 48.5

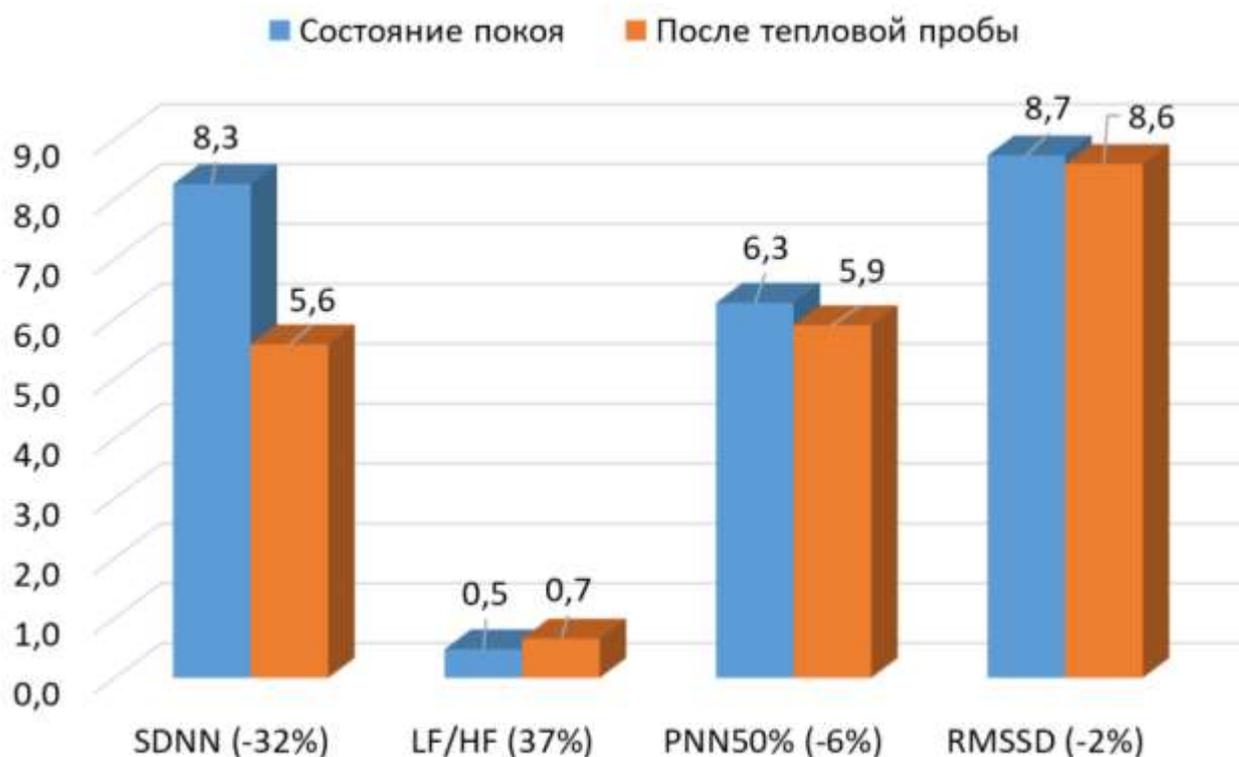


Рисунок 11 – Динамика показателей ВРС относительно нормального интервала

На рисунке 11 видно, что после тепловой пробы расстояние показателя SDNN относительно нормального интервала уменьшается на 32%. Расстояние показателя LF/HF – увеличивается на 37%. Разность показателя PNN50% уменьшается на 6%. Расстояние показателя RMSSD до нормального интервала изменяется незначительно – уменьшается на 2%.

У одного обследуемого после тепловой пробы показатели SDNN и PNN50% смещаются в нормальный диапазон. LF/HF и RMSSD – находятся за пределами нормального диапазона. У 3-х обследуемых показатели смещаются в нормальный диапазон, у 2-х обследуемых - находятся вне нормы после пробы.

Дальнейшими направлениями исследований является расширение «базы данных» ЭКГ записей после тепловой пробы. Применение других функциональных проб, например: ортостатическую, дыхательную, велоэргометрию и т.д. Использование методов машинного обучения для предварительной и досрочной диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

Развитие данной методики потенциально позволит ее применять в футуристических кардиологических и беспроводных устройствах для досрочной диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ВРС после тепловой пробы у испытуемых уменьшилась на 4%. Средний уровень функционирования сердечно-сосудистой системы изменяется незначительно (происходит увеличение порядка 1%). После тепловой пробы у обследуемых происходит смещение вегетативного баланса в сторону симпатической нервной системы на 57%.

ВРС среди всех испытуемых после тепловой пробы смещается к нормальному диапазону на 32%. LF/HF смещается в сторону от нормального диапазона на 37%. PNN50% смещается в сторону нормального диапазона на 6%. RMSSD незначительно смещается в сторону нормального диапазона – на 2%.

После тепловой пробы у трех обследуемых коэффициенты ВРС смещаются в нормальный диапазон; у двух – находятся за пределами нормы. У одного обследуемого динамика показателей ВРС относительно нормального интервала имеет разнонаправленный характер.

Дальнейшими направлениями исследований является получение и анализ большего количества данных от испытуемых. Применение других функциональных проб и использование методов машинного обучения для досрочной диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

Было определено изменение параметров variability ритмов сердца до и после проведения тепловой пробы. Был проведен критический анализ методов диагностики сердечно-сосудистой системы.

Была разработана методика анализа параметров variability ритма сердца до и после проведения тепловой пробы. Было проведено экспериментальное исследование, позволяющее по ЭКГ сигналу рассчитать параметры ВРС при проведении тепловой пробы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Михайлов, В.М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода. – Иваново: 2000. - 200 с.
2. Mastoi, Q.-u.-a. Novel Derma Fusion Technique For ECG Heartbeat Classification / Mastoi, Q.-u.-a, Wah, T.Y.; Mohammed, M.A [et al] // Life. – 2022. – P.1-13.
3. Машин, В. А. Анализ вариабельности ритма сердца при негативных функциональных состояниях в ходе сеансов психологической релаксации / В. А. Машин, М. Н. Машина // Физиология человека. – 2000. – Т. 26, №. 4. – С. 48-54.
4. Бокерия, Л. А. Вариабельность сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование / Л. А. Бокерия, О. Л. Бокерия, И. В. Волковская // Анналы аритмологии. – 2009. – Т. 6, №. 4. – С. 21-32.
5. Яблучанский, Н.И. Вариабельность ритма сердца: в помощь практическому врачу / Н.И. Яблучанский, А.В. Мартыненко. - 2010. - 131 с.
6. Мурашко, В. В. Электрокардиография: учебное пособие / В. В. Мурашко, А. В. Струтынский. - 8-е изд. - МЕДпресс-информ, 2007. - 320 с.
7. Синьков, А. В. Анатомо-физиологические и физико-технические основы ЭКГ: учебное пособие / А. В. Синьков, Г. М. Синькова. – Иркутск : ИГМУ, 2015. – 32 с.
8. Cascino, Thomas. Электрокардиография [Электронный ресурс]: Справочник MSD / Thomas Cascino, Michael S. J. – URL: <https://www.msmanuals.com/ru/профессиональный/нарушения-сердечно-сосудистой-системы/методы-исследования-сердечно-сосудистой-системы-и-техника-их-проведения/электрокардиография?ruleredirectid=452> (дата обращения: 24.04.2022). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
9. Ярмош, И.В. Практическое занятие по теме: Нормальная ЭКГ. Регистрация ЭКГ: методическое пособие для студентов. – Спб. : 2013. – 14 с.
10. Самохвалова, Е. В. Ишемический инсульт и вариабельность ритма сердца / Е. В. Самохвалова, Л. А. Гераскина, А. В. Фонякин // Креативная кардиология. – 2008. – Т. 1. – С. 93-101.

11. Зиеп, Б. М., Таратухин Е. О. Возможности методики вариабельности сердечного ритма / Б. М. Зиеп, Е. О. Таратухин // Российский кардиологический журнал. – 2011. – № 6. – С. 69-75.
12. Porr, Bernhard. py-ecg-detectors [Electronic resource]. – Access mode: <https://github.com/berndporr/py-ecg-detectors> (accessed: 2022-04-25).
13. Бань, А. С. Вегетативный показатель для оценки вариабельности ритма сердца спортсменов / А. С. Бань, Г. М. Загородный // Медицинский журнал. – 2010. – № 4 (34). – С. 127-130.
14. Ковалева, А. В. Анализ вариабельности ритма сердца и возможности его применения в психологии и психофизиологии / А. В. Ковалева, Е. Н. Панова, А. К. Горбачева // Современная зарубежная психология. – 2013. – Т. 2, № 1. – С. 35-50.
15. Баевский, Р. М. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2001. – № 3. – С. 108-127.
16. Снежицкий, В. А. Вариабельность ритма сердца: применение в кардиологии: монография / В. А. Снежицкий [и др.]. – Гродно : ГрГМУ, 2010. – 212 с.
17. Алейникова, Т. В. Вариабельность сердечного ритма (обзор литературы) // Проблемы здоровья и экологии. – 2012. – № 1 (31). – С. 17-23.
18. Баевский, Р. М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов, Л. В. Чирейкин [и др.] // Вестник аритмологии. – 2001. – Т. 24, № 6. – С. 86.
19. Carreiras, C. BioSPPy. Biosignal Processing in Python [Electronic resource]. – Access mode: <https://github.com/PIA-Group/BioSPPy> (accessed 2022-04-25).
20. Большая советская энциклопедия [Электронный ресурс]: парасимпатическая нервная система. – URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/118541/Парасимпатическая> (дата обращения: 30.04.2022). – Загл. с экрана. – Яз. Рус.

