**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра физиологии человека и животных**

Бородина

Екатерина Сергеевна

**ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА**

Магистерская диссертация

специальность 7-06-0511-05 «Биоинформатика»

Научный руководитель:

Чумак Анатолий Георгиевич

доктор биологических наук, профессор

Допущена к защите

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2025 г.

Зав. кафедрой физиологии человека и животных

доктор биологических наук, профессор

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А. Г. Чумак

Минск, 2025

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

Магистерская диссертация 77с., 35рис., 4 табл., 51 источников.

Ключевые слова: ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА, ВЕГЕТАТИВНАЯ НЕРВНАЯ СИСТЕМА, ФЕРМЕНТИРОВАННЫЕ ПРОДУКТЫ, МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ, PYTHON.

Объект исследования: вариабельность сердечного ритма при употреблении ферментированных продуктов.

Предмет исследования: влияние ферментированных продуктов на вариабельность сердечного ритма и вегетативную регуляцию.

Цель работы: исследование динамики ВСР с применением методов математического анализа в среде Python для оценки влияния биотехнологически обработанных (ферментированных) продуктов на вегетативную регуляцию сердечного ритма.

Методы исследования: проспективное исследование, лонгитудинальное исследование, холтеровское мониторирование электрокардиограммы, комплексный анализ ВСР с применением временных, спектральных и нелинейных методов, статистический анализ данных.

Задачи:

1. Систематизация алгоритмов математического анализа ВСР (включая спектральный анализ, нелинейные методы и анализ временных рядов) с использованием библиотек Python.
2. Провести исследование реакции автономной нервной системы человека на употребление ферментированных продуктов (айран, квашеная капуста, рассол квашеной капусты).
3. Оценка потенциала ВСР как предиктора адаптационных изменений ВНС в ответ на нутритивные вмешательства, направленные на модуляцию микробиома.

Научная новизна: Установлено модулирующее влияние биоактивных компонентов ферментированных продуктов на вегетативную регуляцию сердечно-сосудистой системы.

Выявлены специфические реакции автономной нервной системы на употребление различных ферментированных продуктов.

Разработана комплексный биоинформатический метод для оценки влияния ферментированных продуктов на вариабельность сердечного ритма с использованием методов математического анализа в среде Python.

Основные результаты: 1. Выявлены специфические реакции автономной нервной системы на употребление различных ферментированных продуктов. Прием айрана вызывал мгновенную активацию парасимпатического звена, тогда как простокваша приводила к отсроченному вагусному ответу. Употребление квашеной капусты демонстрировало два типа реакций: преобладание парасимпатического или симпатического влияния.  
2. Лонгитудинальное исследование в течение 60 дней выявило выраженную динамику ВСР, коррелирующую с процессом ферментации квашеной капусты. Наиболее благоприятный период с максимальным улучшением адаптационных возможностей организма наблюдался в фазе активного брожения (дни 10-40).  
3. Комплексный анализ данных, включающий оценку графика Пуанкаре, периодограммы Ломба-Скаргла и спектральной плотности мощности, единогласно демонстрирует последовательную трансформацию вегетативной регуляции под влиянием ферментированных продуктов.  
Полученные результаты свидетельствуют о значимом модулирующем влиянии биоактивных компонентов ферментированных продуктов на вегетативную регуляцию сердечно-сосудистой системы. Ключевые показатели ВСР, отражающие баланс симпатического и парасимпатического тонуса, а также общую вариабельность, демонстрируют выраженную положительную динамику, особенно в период активного брожения квашеной капусты.

4. Применение методов математического анализа в среде Python позволило провести всесторонний и высокоточный анализ влияния ферментированных продуктов на вариабельность сердечного ритма. Данный подход обеспечивает удобство обработки больших объемов данных ВСР, а также возможность комплексной оценки с использованием временных, спектральных и нелинейных методов.

Положения, выносимые на защиту: 1. Результаты комплексного анализа влияния ферментированных продуктов на вариабельность сердечного ритма и вегетативную регуляцию.  
2. Динамика показателей вариабельности сердечного ритма в процессе ферментации квашеной капусты.  
3. Использование методов математического анализа в среде Python для оценки влияния ферментированных продуктов на функциональное состояние организма.  
Апробация и публикации:

1. Доклад «Взаимосвязь показателей ВСР с аэробной и анаэробной работоспособностью у спортсменов высокой квалификации» на научно-практической конференции в РНПЦ спорта «Молодые ученые – спортивной науке» (Минск, февраля 2025 г.).
2. Результаты исследования были представлены на Республиканском конкурсе научных работ студентов в 2024 году, где работа "Автономная регуляция сердечного ритма при употреблении биотехнологически адаптированных продуктов" была отмечена 3 категорией.

Публикации:  
1. Бородина, Е.С. Взаимосвязь показателей кардиореспираторной выносливости и скоростно-силовых способностей спортсменов высокой квалификации / Е.С. Бородина, Е.М. Титова // Актуальные проблемы спортивной науки и медицины: сборник тезисов междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 3 апреля 2025 г.) / Республиканский научно-практический центр спорта ; редкол.: И. А. Малёваная [и др.]. – Минск : РНПЦ спорта, 2025. – С.18–20.

2. Бородина, Е.С. Вариативность вегетативных влияний на сердечный ритм при пищевых воздействиях/ А.Г. Чумак, Е.С. Бородина, Д.Д. Шило// Труды международной научной конференции «Фундаментальные и прикладные науки–медицине». – Новости медико-биологических наук. – 2024. – Т.24. – №3. – С.140-141.

Структура магистерской диссертации: Состоит из введения, 3 глав, заключения, списка использованных источников и приложения.

**АГУЛЬНАЯ ХАРАКТАРЫСТЫКА РАБОТЫ**

Магістарская дысертацыя 77с., 35рыс., 4 табл., 51 крыніц.

Ключавыя словы: Варыябельнасць сардэчнага рытму, вегетатыўная нервовая сістэма, ФЕРМЕНТАВАНЫЯ ПРАДУКТЫ, МАШЫНАЕ НАВУЧАННЕ, PYTHON.

Аб'ект даследавання: варыябельнасць сардэчнага рытму пры ўжыванні ферментаваны прадуктаў.

Прадмет даследавання: уплыў ферментаваны прадуктаў на варыябельнасць сардэчнага рытму і вегетатыўную рэгуляцыю.

Мэта працы: даследаванне дынамікі ВСР з ужываннем метадаў матэматычнага аналізу ў асяроддзі Python для адзнакі ўплыву біятэхналагічна апрацаваных (ферментаваных) прадуктаў на вегетатыўную рэгуляцыю сардэчнага рытму.

Метады даследавання: праспектыўнае даследаванне, лонгітудынальнае даследаванне, холтеровское манітарыраванне электракарыёграмы, комплексны аналіз ВСР з ужываннем часовых, спектральных і нелінейных метадаў, статыстычны аналіз дадзеных.

Задачы: 1) Сістэматызацыя алгарытмаў матэматычнага аналізу ВСР (уключаючы спектральны аналіз, нелінейныя метады і аналіз часавых шэрагаў) з выкарыстаннем бібліятэк Python.

2) Правесці даследаванне рэакцыі аўтаномнай нервовай сістэмы чалавека на ўжыванне ферментаваны прадуктаў (айран, квашаная капуста, расол квашанай капусты).

3) Ацэнка патэнцыялу ВСР як прэдыктар адаптацыйных змяненняў УНС у адказ на нутрытыўныя ўмяшанні, накіраваныя на мадуляцыю мікрабіёмы.

Навуковая навізна: Устаноўлены мадулюючы ўплыў біяактыўных кампанентаў ферментаваных прадуктаў на вегетатыўную рэгуляцыю сардэчна-сасудзістай сістэмы. Выяўлены спецыфічныя рэакцыі аўтаномнай нервовай сістэмы на ўжыванне розных ферментаваны прадуктаў. Распрацавана комплексны біяінфарматычны метад для ацэнкі ўплыву ферментаваны прадуктаў на варыябельнасць сардэчнага рытму з выкарыстаннем метадаў матэматычнага аналізу ў асяроддзі Python.

Асноўныя вынікі: 1. Выяўлены спецыфічныя рэакцыі аўтаномнай нервовай сістэмы на ўжыванне розных ферментаваны прадуктаў. Прыём айрана выклікаў імгненную актывацыю парасімпатычнага звяна, тады як сыраватка прыводзіла да адтэрмінаванай вагуснай адказу. Ужыванне квашанай капусты дэманстравала два тыпу рэакцый: перавага парасімпатычнага або сімпатычнага ўплыву.

2. Лонгитудинальное даследаванне на працягу 60 дзён выявіла выяўленую дынаміку ВСР, карэлюе з працэсам ферментацыі квашанай капусты. Найбольш спрыяльны перыяд з максімальным паляпшэннем адаптацыйных магчымасцяў арганізма назіраўся ў фазе актыўнага закісання (дні 10-40).

3. Комплексны аналіз дадзеных, які ўключае ацэнку графіка Пуанкарэ, перыядаграмы Ломба-Скаргла і спектральнай шчыльнасці магутнасці, аднагалосна дэманструе паслядоўную трансфармацыю вегетатыўнай рэгуляцыі пад уплывам ферментаваны прадуктаў. Атрыманыя вынікі сведчаць аб значным мадулюючым уплыве біяактыўных кампанентаў ферментаваны прадуктаў на вегетатыўную рэгуляцыю сардэчна-сасудзістай сістэмы. Ключавыя паказчыкі ВСР, якія адлюстроўваюць баланс сімпатычнага і парасімпатычнага тонусу, а таксама агульную варыябельнасць, дэманструюць выяўленую станоўчую дынаміку, асабліва ў перыяд актыўнага закісання квашанай капусты.

4. Ужыванне метадаў матэматычнага аналізу ў асяроддзі Python дазволіла правесці ўсебаковы і высокадакладны аналіз уплыву ферментаваны прадуктаў на варыябельнасць сардэчнага рытму. Дадзены падыход забяспечвае зручнасць апрацоўкі вялікіх аб'ёмаў даных ВСР, а таксама магчымасць комплекснай ацэнкі з выкарыстаннем часовых, спектральных і нелінейных метадаў.

Палажэнні, якія выносяцца на абарону: 1. Вынікі комплекснага аналізу ўплыву ферментаваны прадуктаў на варыябельнасць сардэчнага рытму і вегетатыўную рэгуляцыю.

2. Дынаміка паказчыкаў варыябельнасці сардэчнага рытму ў працэсе ферментацыі квашанай капусты.

3. Выкарыстанне метадаў матэматычнага аналізу ў асяроддзі Python для адзнакі ўплыву ферментаваны прадуктаў на функцыянальны стан арганізма.

Апрабацыя і публікацыі: 1. Даклад "Узаемасувязь паказчыкаў ВСР з аэробнай і анаэробнай працаздольнасцю ў спартсменаў высокай кваліфікацыі" на навукова-практычнай канферэнцыі ў РНПЦ спорту "Маладыя вучоныя - спартыўнай навуцы" (Мінск, лютага 2025 г.).

2. Вынікі даследавання былі прадстаўлены на Рэспубліканскім конкурсе навуковых прац студэнтаў у 2024 годзе, дзе праца "Аўтаномная рэгуляцыя сардэчнага рытму пры ўжыванні біятэхналагічна адаптаваных прадуктаў" была адзначана 3 катэгорыяй.

Публікацыі: 1. Барадзіна, А.С. Узаемасувязь паказчыкаў кардыярэспіраторнай цягавітасці і хуткасна-сілавых здольнасцей спартсменаў высокай кваліфікацыі / А.С. Барадзіна, А.М. Цітова // Актуальныя праблемы спартыўнай навукі і медыцыны: зборнік тэзісаў міжнар. навук.-практ. канф. (Мінск, 3 красавіка 2025 г.) / Рэспубліканскі навукова-практычны цэнтр спорту; рэдкал.: І. А. Маляваныя [і інш.]. – Мінск: РНПЦ спорту, 2025. – С.18–20.

2. Барадзіна, А.С. Варыятыўнасць вегетатыўных уплываў на сардэчны рытм пры харчовых уздзеяннях / А.Г. Чумак.

**GENERAL DESCRIPTION OF WORK**

Master's thesis 77 pages, 35 figures, 4 tables, 51 sources.

Keywords: HEART RATE VARIABILITY, AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM, FERMENTED PRODUCTS, MACHINE LEARNING, PYTHON.

Object of the study: heart rate variability when consuming fermented products.

Subject of the study: the effect of fermented products on heart rate variability and autonomic regulation.

Objective of the work: study of the dynamics of HRV using mathematical analysis methods in the Python environment to assess the effect of biotechnologically processed (fermented) products on the autonomic regulation of the heart rate.

Research methods: prospective study, longitudinal study, Holter ECG monitoring, complex HRV analysis using temporal, spectral and nonlinear methods, statistical data analysis.

Objectives: 1) Systematization of algorithms for mathematical analysis of HRV (including spectral analysis, nonlinear methods and time series analysis) using Python libraries.

2) Conduct a study of the reaction of the human autonomic nervous system to the consumption of fermented foods (ayran, sauerkraut, sauerkraut brine).

3) Evaluation of the potential of HRV as a predictor of adaptive changes in the ANS in response to nutritional interventions aimed at modulating the microbiome.

Scientific novelty: The modulating effect of bioactive components of fermented foods on the autonomic regulation of the cardiovascular system has been established. Specific reactions of the autonomic nervous system to the consumption of various fermented foods have been identified. A comprehensive bioinformatics method was developed to assess the effect of fermented foods on heart rate variability using mathematical analysis methods in the Python environment.

Main results: 1. Specific reactions of the autonomic nervous system to the consumption of various fermented foods were revealed. Ayran intake caused immediate activation of the parasympathetic link, while yogurt led to a delayed vagal response. Sauerkraut consumption demonstrated two types of reactions: the predominance of parasympathetic or sympathetic influence.

2. A longitudinal study over 60 days revealed pronounced dynamics of HRV, correlating with the fermentation process of sauerkraut. The most favorable period with the maximum improvement in the adaptive capacity of the body was observed in the active fermentation phase (days 10-40).

3. Complex data analysis, including the assessment of the Poincaré plot, Lomb-Scargle periodogram and power spectral density, unanimously demonstrates a consistent transformation of autonomic regulation under the influence of fermented products. The results indicate a significant modulating effect of the bioactive components of fermented products on the autonomic regulation of the cardiovascular system. Key HRV indicators reflecting the balance of sympathetic and parasympathetic tone, as well as overall variability, demonstrate pronounced positive dynamics, especially during the period of active fermentation of sauerkraut.

4. The use of mathematical analysis methods in the Python environment made it possible to conduct a comprehensive and highly accurate analysis of the effect of fermented products on heart rate variability. This approach provides ease of processing large volumes of HRV data, as well as the possibility of a comprehensive assessment using time, spectral and nonlinear methods.

Thesis submitted for defense: 1. Results of a comprehensive analysis of the effect of fermented products on heart rate variability and autonomic regulation.

2. Dynamics of heart rate variability indicators during fermentation of sauerkraut.

3. Using mathematical analysis methods in the Python environment to assess the effect of fermented products on the functional state of the body.

Testing and publications:

1. Report "The relationship between HRV indicators and aerobic and anaerobic performance in highly qualified athletes" at the scientific and practical conference in the Republican Scientific and Practical Center of Sports "Young Scientists - Sports Science" (Minsk, February 2025).

2. The results of the study were presented at the Republican competition of scientific works of students in 2024, where the work "Autonomous regulation of heart rate when using biotechnologically adapted products" was awarded the 3rd category.

Publications:

1. Borodina, E.S. The relationship between indicators of cardiorespiratory endurance and speed-strength abilities of highly qualified athletes / E.S. Borodina, E.M. Titova // Actual problems of sports science and medicine: collection of abstracts of the int. scientific-practical. conf. (Minsk, April 3, 2025) / Republican Scientific and Practical Center of Sports; editorial board: I. A. Malevanaya [et al.]. - Minsk: Republican Scientific and Practical Center of Sports, 2025. - P. 18-20.

2. Borodina, E.S. Variability of vegetative influences on heart rate under food influences / A.G. Chumak.