

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Бочарин Иван Владимирович

**ФУНКЦИОНАЛЬНО-МЕТАБОЛИЧЕСКИЙ ОТВЕТ НА  
СТАНДАРТНУЮ ФИЗИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ В ОЦЕНКЕ  
АДАПТИВНЫХ РЕАКЦИЙ ОРГАНИЗМА**

1.5.5 – физиология человека и животных

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Научный руководитель:  
доктор биологических наук, доцент  
А.К. Мартусевич

Нижний Новгород – 2023

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ГЕМОДИНАМИКИ, ВЕГЕТАТИВНОГО СТАТУСА И ОКИСЛИТЕЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА В НОРМЕ И ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	12
1.1. Общая характеристика системной и локальной гемодинамики, а также вариабельности сердечного ритма	12
1.2. Механизмы функционирования окислительного метаболизма в физиологических условиях и при физических нагрузках	19
1.3. Особенности реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку	27
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	34
2.1. Общая характеристика объектов и методов исследования	34
2.2. Методы исследования	42
2.2.1. Тонометрический способ исследования показателей системной гемодинамики	42
2.2.2. Аппаратный способ исследования показателей системной гемодинамики и оценка вариабельности сердечного ритма	44
2.2.3. Исследование процессов липопероксидации и активности антиоксидантной системы	46
ГЛАВА 3. КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТВЕТА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ СТУДЕНТОВ НА СТАНДАРТНУЮ ФИЗИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ	50
3.1. Исследование состояния системной гемодинамики студентов в условиях стандартной физической нагрузки	51
3.2. Состояние окислительного метаболизма студентов в условиях стандартной физической нагрузки	67
3.3. Анализ уровня восстановительных процессов системной гемодинамики студентов после физической нагрузки	72

3.4. Гемодинамическая дифференциация студентов по реактивности на стандартную физическую нагрузку	83
3.5. Корреляционно-регрессионный анализ функционально-метаболических параметров организма	87
ГЛАВА 4. МОНИТОРИНГ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТУДЕНТОВ В СОСТОЯНИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ПОКОЯ	96
4.1. Определение гемодинамических показателей студентов в состоянии физиологического покоя методом тонометрии	96
4.2. Характеристика гемодинамических показателей студентов в состоянии физиологического покоя с помощью «системы спортивного тестирования «MedicalSoft»	101
4.3. Исследование окислительного метаболизма студентов различных курсов обучения	109
4.4. Оценка уровня адаптационных резервов студентов разных этапов обучения	113
ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ	115
ВЫВОДЫ	128
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	130
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	131

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Изучение состояния адаптационных резервов организма на основании применения унифицированных методик является одной из классических тем физиологии. Несмотря на многочисленность исследований в этой области, ряд аспектов проблемы требует дополнительного исследования. В рамках адаптации к физическим нагрузкам у различных групп населения принципиально важно исследование функционального состояния сердечно-сосудистой системы с учетом вегетативного обеспечения деятельности [147]. Кроме того, необходимо осуществлять мониторинг окислительного метаболизма и интенсивности свободнорадикального окисления для предотвращения процессов дезадаптации и функционального дефицита [38]. При этом, важным фактором является готовность конкретных людей к выполнению различных физических упражнений, а на этом основании, необходим комплексный мониторинг состояния здоровья населения, что частично реализуется с помощью процедуры диспансеризации [11]. Но в данные профилактические медицинские осмотры в меньшей степени вовлечена студенческая молодежь, которая является частью населения, имеющая высокую физическую активность и наиболее активно включающаяся в учебно-тренировочный процесс [143]. Также в современном мире нельзя не замечать тенденцию к компьютеризации, которая заметно снижает двигательную активность студенческой молодежи и приводит к статической напряженности [141]. Известно, что воздействие физических упражнений считается одним из основных средств поддержания оптимального функционального состояния организма, улучшения физической работоспособности и системной адаптации, одновременно являясь формой физиологического стресса и запуская проадаптивные процессы [166, 213, 256, 258], и могут использоваться в качестве основных средств для оптимизации функционального состояния организма, улучшения его физической работоспособности и системной адаптации [53]. При этом, организм способен компенсировать недостаточно оптимальную работу любого звена регуляторной системы для своей работы, однако для обеспечения

жизненных процессов будут использоваться резервные возможности, что характеризует высокую степень напряжения в поддержании гомеостаза [10]. Кроме того, у скелетной мускулатуры в процессе сокращения имеется способность значительно увеличивать потребление кислорода. Это приводит к интенсификации процессов свободнорадикального окисления, поэтому необходимо учитывать возможность разнонаправленных изменений, связанных с последовательностью включения соответствующих защитных механизмов. Это ведет к исчерпанию ресурсов антиоксидантной системы, поэтому требуется анализ показателей окислительного гомеостаза [38, 156, 198, 273].

В связи с вышеизложенным, важным и актуальным является объективная оценка функционального состояния организма, которая представляет собой одно из необходимых условий научного подхода к управлению учебно-тренировочным процессом и здоровьем студенческой молодежи разных этапов обучения [5]. При этом анализ функционально-адаптационных возможностей характеризует состояние здоровья студентов, но, первоначально, уровень работы физиологических систем, а именно – сердечно-сосудистой системы, ведь именно эта система обеспечивает физическую работоспособность организма и его адаптационные возможности при воздействии различных внешних и внутренних факторов [148]. Немаловажным является процесс изучения молекулярно-клеточных механизмов, которые обеспечивают цикличность процессов при мышечной работе, а также контроля активации перекисных процессов при свободнорадикальном окислении, избыток которого может привести к повреждению биологических мембран и патологическим состояниям [23].

Важнейшим звеном в подготовке будущего специалиста является грамотная организация учебно-тренировочного процесса в высшем учебном учреждении, которая представляет особую ценность в поддержании оптимального состояния здоровья студентов [39]. Временной период обучения в вузе важен с позиции физиологического, психологического, социального и нравственного становления будущего специалиста. От этого фактора напрямую зависит дальнейшая профессиональная деятельность во всех возрастных периодах. Важнейшим

направлением государственной программы Российской Федерации является укрепление здоровья студенческой молодежи в области здравоохранения и образования [109, 110]. Однако, состояние здоровья студентов продолжает ухудшаться вследствие не всегда правильного образа жизни, постоянно увеличивающегося объема учебных нагрузок и снижения двигательной активности [39, 83, 265]. При этом объем теории и практики неодинаков и прогрессирует в течение всего периода обучения. Этот фактор сопряжен с высоким уровнем психоэмоционального стресса в процессе усвоения большого объема теоретического материала и обширной практической подготовкой [7]. Установлено, что с увеличением курса обучения значительно снижается двигательная активность студентов из-за окончания обучения по дисциплине «физическая культура и спорт» [31, 282], что отражается в снижении работы регуляторных систем и уровня адаптационных механизмов. С указанных позиций, требуется контроль состояния здоровья студенческой молодежи путем оценки адаптивных резервов организма обучающихся.

**Степень разработанности темы исследования.** Изучение особенностей работы регуляторных систем можно проводить на основании унифицированных методов, что позволяет систематизировать степень адаптивных возможностей организма и предложить индивидуальный подход к каждому студенту. К таковым, в частности, относятся функциональные гемодинамические пробы, а также методическое и техническое обеспечение их проведения и анализа результатов [105]. При этом возрастает актуальность поиска диагностических критериев, позволяющих оценить функциональное состояние и физическую форму студента, а мишенью этого поиска являются не только первичные признаки срыва адаптационных процессов, но и различные нарушения в работе сердечно-сосудистой системы и окислительного метаболизма. Анализ этих процессов становится возможным систематизировать с помощью проведения функциональных проб, а также грамотного методического и технического их обеспечения и анализа результатов [100]. Они позволяют оценивать

функциональное состояние организма студенческой молодежи в условиях различных состояний.

Однако, данная проблема мало рассматривалась в оценке толерантности организма к воздействию физических упражнений Всероссийского физкультурно-оздоровительного комплекса «ГТО». Кроме того, особое внимание заслуживает разработка механизмов экспресс-диагностики на основании применения интегративных критериев функционального состояния организма. Предложенный методологический подход позволит получить представление об особенностях адаптационных процессов организма студентов с учетом продолжительности обучения. Это послужило основой для постановки целей и задач исследования.

#### **Цель исследования:**

Оценить функционально-метаболические резервы адаптации организма на основании изучения особенностей гемодинамического ответа и реакции окислительного метаболизма крови на стандартную физическую нагрузку.

#### **Задачи исследования:**

1. Определить состояние гемодинамики и вариабельности сердечного ритма студентов при воздействии физических нагрузок различной мощности и изучить восстановительные процессы после них.
2. Оценить интенсивность свободнорадикального окисления и активность антиоксидантной системы крови в условиях стандартной физической нагрузки.
3. Охарактеризовать основные типы реактивности гемодинамики организма студентов в течение постнагрузочного периода.
4. Обосновать интегративный показатель адаптивных резервов организма, учитывающий показатели гемодинамики, вариабельности сердечного ритма и окислительного метаболизма, и изучить его динамику при стандартных физических нагрузках.
5. Установить особенности адаптивных резервов организма студенческой молодежи по параметрам гемодинамики и состояния про- и антиоксидантных систем крови с учетом продолжительности обучения.

**Научная новизна.** Показано, что упражнения комплекса «ГТО» способны выступать в качестве тест-стрессора для мониторинга адаптивных резервов гемодинамики и окислительного метаболизма, при этом наиболее существенные сдвиги среди выбранных упражнений комплекса вызывают бег на 100 м и подтягивание из виса на перекладине. По характеру срочной адаптации к физической нагрузке и восстановительных процессов на основании кластерного анализа параметров гемодинамики и вариабельности сердечного ритма выделены 3 категории студентов. При реакции организма на нагрузочный комплекс первый кластер (40 %) включает студентов с умеренной симпатикотонией и угнетением автономного контура регуляции, во втором кластере отмечаются разнонаправленные колебания ударного объема и частоты сердечных сокращений, с сохранением централизации сердечного ритма, а в третьем кластере (35,7 %) наблюдаются испытуемые с резким напряжением регуляторных систем и снижением функционального состояния. В постнагрузочном периоде в первый кластер включены лица, имеющие высокие адаптационные резервы (51,4 %), ко второму кластеру отнесены обучающиеся с показателями на границе адаптации/дезадаптации (15,7 %), а третий кластер включает лиц с напряжением адаптационных механизмов (32,9 %). Установлено, что дифференциация адаптивного и дезадаптивного ответа на физическую нагрузку возможна по парным диаграммам показателей гемодинамики и вариабельности сердечного ритма и динамике функционально-метаболического показателя.

Для комплексной характеристики адаптационных резервов организма разработан функционально-метаболический параметр, основанный на показателях системной гемодинамики, вариабельности сердечного ритма и окислительного метаболизма, и верифицированный с использованием корреляционно-регрессионного анализа.

Установлено, что в процессе обучения (с 1 по 3 курсы) адаптивные резервы сердечно-сосудистой системы постепенно снижаются (доля лиц с признаками дезадаптации повышается с 10,5 до 21,5% соответственно), однако в покое большинство из оцениваемых показателей оставались в пределах возрастной



нормы. Выявлено, что у третьекурсников наблюдается напряжение регуляторных механизмов по статистическим и спектральным показателям, что сопрягается со сдвигами окислительного метаболизма в сторону окислительного стресса, частично компенсированного антиоксидантными системами.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Используемый в работе подход к оценке динамики параметров состояния сердечно-сосудистой системы в восстановительном постнагрузочном периоде может быть использован в качестве способа исследования адаптационного потенциала и функциональных резервов организма. Сформированная технология изучения реактивности системной гемодинамики и вариабельности сердечного ритма на стандартную физическую нагрузку (сочетание упражнений комплекса ГТО) позволяет оценить адаптивность ответа на нее, и может быть использована для оценки готовности к занятиям физической культурой, а также профессионального отбора к различным видам деятельности, сопряженным с интенсивными физическими нагрузками. Разработанный интегральный параметр – функционально-метаболический показатель – может быть использован для тестирования адаптивных резервов организма у студенческой молодежи (18-21 год). Кроме того, исследование позволило показать диагностическую информативность системы спортивного тестирования «MedicalSoft» для оценки состояния гемодинамики и вариабельности сердечного ритма.

**Реализация результатов исследования.** Материалы диссертационной работы внедрены в учебный процесс кафедры «Физиология, биохимия животных и акушерство» Нижегородского государственного агротехнологического университета, кафедры физической культуры и спорта Приволжского исследовательского медицинского университета, и факультета физической культуры и спорта Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Стандартная физическая нагрузка вызывает существенное, зависящее от ее мощности изменение параметров функционирования сердечно-сосудистой

системы и баланса про- и антиоксидантных систем крови. Характер и выраженность этих сдвигов непосредственно определяются адаптационными резервами организма.

2. Функционально-метаболическое тестирование, основанное на использовании упражнений комплекса ГТО, позволяет выявить адаптационные резервы сердечно-сосудистой системы и возможности компенсации сдвигов окислительного метаболизма, установить тип гемодинамического ответа на стандартную физическую нагрузку и оценить скорость и полноценность восстановительных процессов.

3. Гемодинамические показатели, параметры variability сердечного ритма и окислительного метаболизма крови студентов сохраняются в физиологических пределах, но прогрессивно смещаются в область пограничных значений при увеличении продолжительности обучения в ВУЗе (с 1 по 3 курс), что демонстрирует снижение адаптационных резервов.

**Степень достоверности.** Достоверность и обоснованность результатов диссертационного исследования подтверждаются корректной выборкой испытуемых, использованием сертифицированных программно-аппаратных комплексов, а также методов статистической обработки полученных данных.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации доложены и обсуждены на XIV международной научной конференции «Системный анализ в медицине» (Благовещенск, 2020), на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные вопросы научно-методического обеспечения системы подготовки спортивного резерва в Российской Федерации (Казань, 2020), на XXVIII Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы биомедицины» (Санкт-Петербург, 2022), на IX Международной научно-практической конференции «Безопасный спорт – 2022» (Санкт-Петербург, 2022) и на IX Российской с международным участием, конференции по управлению движением, посвященной 95-летию со дня рождения И.Б. Козловской «Motor control – 2022» (Казань, 2022).

**Соответствие диссертации Паспорту научной специальности.**

Представленная диссертационная работа соответствует Паспорту специальности 1.5.5 – физиология человека и животных. Работа посвящена изучению типов реактивности сердечно-сосудистой системы на стандартную физическую нагрузку. Результаты научного исследования соответствуют следующим пунктам Паспорта специальности: п. 1. Изучение закономерностей и механизмов поддержания постоянства внутренней среды организма; п. 2. Анализ механизмов нервной и гуморальной регуляции, генетических, молекулярных, биохимических процессов, определяющих динамику и взаимодействие физиологических функций п. 3. Исследование закономерностей функционирования основных систем организма (нервной, иммунной, сенсорной, двигательной, крови, кровообращения, лимфообращения, дыхания, выделения, пищеварения, размножения, внутренней секреции и др.) и п. 8. Изучение физиологических механизмов адаптации человека к различным географическим, экологическим, трудовым и социальным условиям.

**Публикация результатов исследования**

По материалам диссертации опубликовано 20 научных работ, из них 13 – в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 7 – в рецензируемых научных изданиях, а также сборниках научных трудов Всероссийских и Международных конференций.

**Объем и структура диссертации.** Текст диссертации изложен на 165 страницах компьютерного текста, состоит из введения, аналитического обзора литературы, описании материалов и методов исследования, двух глав с изложением результатов собственных исследований, обсуждения результатов исследования, выводов, и списка литературы. Список литературы включает 288 источников, в том числе 148 - отечественных и 140 - зарубежных авторов. Диссертация содержит 15 таблиц и 49 рисунков.

## ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ГЕМОДИНАМИКИ, ВЕГЕТАТИВНОГО СТАТУСА И ОКИСЛИТЕЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА В НОРМЕ И ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

### *1.1. Общая характеристика системной и локальной гемодинамики, а также вариабельности сердечного ритма*

Сердечно-сосудистая система (ССС) является важным компонентом состояния здоровья человека и оказывает существенное влияние на его жизнедеятельность. Она начинает функционировать еще на стадии внутриутробного развития и обеспечивает адаптивные возможности организма на всех этапах его развития и существования. Нарушения развития этой системы, ее заболевания и связанные с возрастными изменениями и старением состояния существенно ограничивают адаптивные возможности и продолжительность жизни человека. [15]. В связи с важностью ССС для жизнедеятельности человека, она реагирует на изменения как в отдельных системах и органах, так и в организме в целом, что обеспечивает высокую диагностическую информативность оценки гемодинамической обеспеченности и состояния основных систем. Кроме того, состояние данной системы позволяет активно корректировать состояние здоровья человека и отдельных органов путем управления гемодинамическими процессами. Несомненно, анализ функционирования ССС является ключевым фактором определения здоровья человека и оказывает существенное влияние на его функционирование. Ее изучение позволяет эффективно диагностировать различные состояния организма и осуществлять коррекцию его функций и состояния.

Кровообращение с позиции механики является гидравлической сетью, имеющей камерные насосы с клапанами и растяжимые трубки, по которым течет кровь – «типичная неньютоновская жидкость», транспортирующая в организме дыхательные газы, энергетические, пластические и регуляторные механизмы и выполняющая функцию носителя тепла от ядра тела к его оболочке [76]. Исследования подтверждают, что изменения в системе микроциркуляции,

особенно в ее кровеносном компоненте, происходят на протяжении всего онтогенеза. Наиболее лабильным является кровеносный компонент этой системы. В половозрелом возрасте механизмы, отвечающие за стабилизацию кровотока в тканевых регионах, достигают определенного уровня структурной зрелости. Этот уровень обеспечивает оптимальное использование функциональных резервов организма на разных уровнях его структурной организации.

Сердце является движущей силой, равной разности давления крови в начале и в конце кругов кровообращения, составляющей 95 мм.рт.ст. (в аорте 100 мм рт.ст., в крупных венах 5 мм.рт.ст.) обеспечивающей движение крови в сосудистой системе, которое осуществляется через поочередное соединение сосудов, что обеспечивает кругооборот крови в кругах кровообращения. [68, 185]. Градиент давления зависит от вязкости крови, которая выше при большем содержании в крови форменных элементов и/или белков и низкой скорости кровотока, объясняемая обратимой агрегацией эритроцитов.

Растущие капилляры широко анастомозируют между собой и образуют первичную диффузную сеть микрососудов. Изменения в системе микроциркуляции коррелирует с увеличением размера мышцы, где наблюдается рост количества капилляров, а также перестройка кровоснабжения микрососудов [4]. Эти сдвиги включают в себя расширение артериол и венул, а также увеличение их диаметра, протяженности и фрагментации.

Формирование гемодинамических функций характеризуется повышением в онтогенезе артериального давления, ударного и минутного объемов сердца, ростом скорости распространения пульсовой волны по сосудам мышечного и эластического типов. При этом зафиксирована смена плавных, постепенно наступающих изменений функции миокарда и гемодинамики скачкообразными изменениям [10, 20]. Объективные изменения показателей гемодинамики у тренированных людей имеют большое значение для адекватного понимания и описания процессов их формирования. При этом, сердечно-сосудистая система данного контингента лиц является главным фактором, который лимитирует функциональные возможности организма, обеспечивающие выполнение

организмом должного объема работы. Взаимодействие сердца и сосудов определяется как уровнем сократимости левого желудочка сердца, так и состоянием его сосудистой нагрузки, а также свойствами барорефлекторной регуляции системы кровообращения, которые совместно формируют величины показателей центральной гемодинамики и фазовой структуры сердечного цикла [27, 32].

Параметр, определяющий состояние всей системы кровообращения – сердечный выброс [97, 113]. Объемная скорость прямо пропорциональна величине градиента кровяного давления, радиусу сосудов в четвертой степени, зависит от работы сердца и обратно пропорциональна величине ОПСС сосудов, вязкости крови, длине сосудов. Регулируется в зависимости от метаболических потребностей тканей. Основными характеристиками являются УО и МОК. В норме в состоянии физиологического покоя ударный объем составляет 70-80 мл. С возрастом величина ударного и минутного объемов крови увеличивается [80, 88] за счет нарастания объема и массы миокарда, формирования его сократительной функции.

Кроме системной гемодинамики непрерывный ток крови в организме гарантируется системой параллельно примыкающих к аорте и полым венам сосудистых русел, представленных сосудами разных органов и обеспечивающих регионарную гемодинамику, обладающими индивидуальными физиологическими особенностями кровообращения. Коронарное кровообращение равно 0,8-0,9мл/г в минуту, что составляет 4 % общего сердечного выброса. На его величину оказывают физические, нервные и метаболические факторы: величина артериального давления, сосудистое сопротивление артериол и внесосудистые жидкости [122, 129]. Особенностью коронарных сосудов в их расположении сверху миокарда. Большая часть правого желудочка сердца, некоторые отделы перегородки сердца и задняя стенка левого желудочка снабжаются от правой коронарной артерии, по статистике преобладая у 50 % людей, при этом остальные отделы сердца снабжаются левой коронарной артерией. Обнаружены различия в коронарном кровотоке в зависимости от фазы сердечного цикла: во время

систола к сердцу поступает до 15 % крови, а во время диастолы до 85 %, что связано с тем, что во время систолы сокращающиеся мышечные волокна сдавливают коронарные артерии и происходит порционный выброс крови из сердца. Кроме того, во время систолы кровь может не только не поступать вследствие пережатия сосудов, а даже циркулировать в обратном направлении. За счет растяжения предсердий по закону Бойля-Мариотта возникает разреженное пространство с отрицательным давлением в перикардальной полости (-155 мм.рт.ст.) и присасывающей функцией сердца отток крови осуществляется из коронарных вен через венозный синус по передним сердечным и тебезиевым венам в правое предсердие [142, 157].

В клинической литературе часто используется понятие «минутный объем кровообращения» (МОК) [81]. Небольшой объем кровотока характеризует общий объем крови, прокачиваемой правым и левым отделами сердца в течение одной минуты через сердечно-сосудистую систему. Размерность минутного объема кровообращения составляет л/мин или мл/мин. Чтобы нейтрализовать влияние индивидуальных антропометрических различий на значение МОК, его выражают сердечным индексом.

Сердечный индекс – это значение минутного объема кровообращения, деленное на поверхность тела в метрах [153]. Величина сердечного индекса составляет л/мин/м<sup>2</sup>. В системе транспорта кислорода система кровообращения является лимитирующим звеном, поэтому соотношение максимального значения МОК, проявляющегося при наиболее интенсивной мышечной работе, с его значением в условиях базального метаболизма, дает представление о функциональном резерве сердечно-сосудистой системы. Такое же соотношение отражает функциональный резерв сердца по его гемодинамической функции.

Исследования показывают, что эластичность артерий во многом определяется такими характеристиками стенок сосудов, как податливость, растяжимость и жесткость. Это означает, что натяжение стенок артерий в значительной степени зависит от пропорции эластических и коллагеновых волокон в их структуре. Если коллагеновые волокна преобладают, то стенка

артерии будет относительно более жесткой, в то время как преобладание эластических волокон обеспечивает большую мягкость и податливость. При этом, способность к растяжению у сосуда определяется его способностью изменять свой диаметр в ответ на колебания внутрисосудистого давления. Обратной величиной растяжимости является жесткость. Установлено, что параметры скорости пульсовой волны характеризуют растяжимость артериальной стенки. Структуры и физико-химические свойства сосудистой стенки, а также ее морфологическое строение взаимосвязаны с эластическими свойствами. Эластин, коллаген, а также гладкомышечные клетки определяет упругость, при этом, в магистральных сосудах около 50 % сухого веса приходится на эластин и коллаген.

Гладкая мускулатура, эластин и коллаген являются комплексом компонентов сосудистой стенки, оказывающие воздействие на ее упругие свойства во время фаз нагрузки-разгрузки под давлением, что является феноменологией гистерезиса кривых диаметра сосуда. Следует отметить, что перестройка свойств стенки сосуда имела бы однотипный характер и была бы ограничена в своем растяжении, если бы эластин и коллаген выступали в качестве активных компонентов. Гладкая мускулатура, являясь функционально-лабильным компонентом, выступает главным фактором в регуляции быстрой перестройки механических свойств артериальной стенки в течение каждого сердечного цикла. При этом, нельзя не отметить роль физических нагрузок в сдвигах упругости сосудов, где исследования эластического сопротивления артериальной системы широко используются в том числе в спортивной медицине. Выраженное изменение сопротивления сосудов происходит у спортсменов при выполнении работы различной мощности, где оценивается модуль упругости в соответствии с показателями пульсового давления и длительности диастолы, реакция артериальной стенки, что сопровождается функциональными перестройками в центральной гемодинамике (в частности, в показателях артериального давления, общего периферического сосудистого сопротивления, ударного и минутного объемов кровотока). В данном механизме для предотвращения депонирования



крови при интенсификации кровотока происходит сдвиги сопротивления сосудистой стенки в сторону увеличения, что является компенсаторной адаптационной реакцией организма [47].

Физиологическим компонентом, отражающим сложнейших нейрогуморальных воздействий на систему кровообращения, является вариабельность сердечного ритма, в которой присутствуют периодические составляющие различной амплитуды и частоты, а также нелинейный характер взаимодействия контуров управления вегетативным обеспечением. Этот метод позволяет оценить состояние регуляторных механизмов в оценке физиологических функций организма, баланс между симпатической и парасимпатической регуляцией и общую функциональную активность вегетативной нервной системы. В процессе адаптационных реакций индикаторы вариабельности сердечного ритма изменяются в соответствии со временем, что соотносится с достижением оптимального функционального состояния организма и его компенсаторно-приспособительного ответа в качестве обеспечения оптимальных адаптационных механизмов. У разных лиц существует разнонаправленная степень включения функциональных систем с присутствующей в каждой из них обратной связью, которая изменяется во времени и имеет переменную организацию, что определяет персонализированный характер адаптационных реакций [12]. Для упрощения анализа полученных данных широко применяется использование коротких записей ВСР (не более 5 минут, или до регистрации 256 кардиоциклов), однако это сокращает диапазон регуляторных воздействий на ЧСС, что может усложнить интерпретацию результатов для качественного анализа адаптации организма к внешним раздражителям окружающей среды [58, 61].

Симпатический отдел, выступающий в качестве компонента вегетативного баланса, и его активность оценивается по степени торможения (подавления) активности вегетативного регуляторного контура, включающего другую важную составляющую – парасимпатический отдел. Этот фактор выступает в качестве оптимального показателя для отражения мощности дыхательной составляющей

пульса, визуализированный в абсолютном и относительном значениях. Дыхательный компонент мощности спектра в области высоких частот (HF компонент) обычно находится в диапазоне от 15 до 25 % от общей мощности спектрального анализа ВСР. Считается, что утверждать об увеличении симпатического отдела возможно при уменьшении доли HF компонента до 8-10 %, что сопровождается сдвигом вегетативного баланса, а при его смещении ниже 2-3 % целесообразно предположить о выраженном преобладании симпатической активности. Это отражается и в существенном уменьшении временных показателей ВСР – параметрах RMSSD и pNN50 [149].

В качестве индикатора спектральной составляющей ВСР используется показатель низкочастотной мощности спектра (LF), который оказывает свое влияние на регуляцию тонуса сосудов. В норме чувствительные рецепторы в области сонного синуса воспринимают изменение величины артериального давления, и афферентные нервные импульсы поступают в сосудодвигательный (вазомоторный) центр удлинённого канатика. В этой области происходит по афферентному пути происходит обработка и анализ поступившей информации, а с помощью эфферентной импульсации происходит транспортировка в сосудистую систему сигнальных сообщений. Таким образом вазомоторный центр контролирует по системе обратной связи с гладкомышечными волокнами сосудов их тонус. Затрачиваемое время сосудодвигательного центра составляет 7-20 секунд, за которое осуществляется прием, обработка и передача информации. В среднем, этот отрезок составляет 10 секунд. Исходя из вышеуказанного, в инструментальной регистрации ВСР обнаруживаются вазомоторные волны с частотой около 0,1 Гц, мощность медленных волн 1-го порядка определяет активность сосудодвигательного центра. Кроме того, выраженное усиление мощности в этом диапазоне пульсовых колебаний происходит в процессе изменения положения тела с лежащего на стоячее. Активность вазомоторного центра также определяет возраст организма, где увеличение последнего способствует снижению активности этой системы, а у людей в пожилом возрасте практически отсутствуют вышеуказанные эффекты.

Эти процессы дают необходимую информацию об адапционных резервах организма, его компенсаторных механизмах, а также обеспечивают интегральную оценку вегетативной нервной системы. В свою очередь, эта система выступает в качестве оптимальной регуляторной составляющей внутренних органов и систем, и обеспечивает минимизацию негативных состояний в условиях воздействия факторов внешней среды, при условии ее оптимального физиологического состояния. При срыве адапционных процессов и дизрегуляции работы ВНС происходит состояние вегетативной дисфункции [163].

Таким образом, гемодинамика рассматривает физиологию кровообращения, его механизмы и закономерности, обеспечивает согласованное взаимодействие между организмом как целостной системой и отдельными элементами этой системы, а вариабельность сердечного ритма отражает регуляторные механизмы физиологических функций сердца.

## ***1.2. Механизмы функционирования окислительного метаболизма в физиологических условиях и при физических нагрузках***

Известно, что в организме постоянно проходят процессы биологического окисления с образованием активных форм кислорода (АФК), которые представляют собой высокореакционные, в основном радикальные соединения, образующиеся из-за не полностью восстановленного молекулярного кислорода или присутствия одного неспаренного электрона на внешних орбиталях [91]. Не совсем однозначно действие свободных радикалов в организме, что характеризуется его функциональным состоянием, изменяющимся под влиянием различных факторов внешней и внутренней среды, к примеру – степень насыщения тканей кислородом, наличие токсических соединений, развитие воспалительных заболеваний [43]. К наиболее вероятным мишеням цитотоксической окислительной атаки АФК относятся повреждение мембранных белков и клеточных ДНК [155, 186], модуляция ферментативной активности [273] и активация процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в биологических мембранах [211, 245]. При этом, недостаточно полно контролируемое

антиоксидантной системой образование АФК приводит к окислительному стрессу, с которым связывают наличие большого количества различных патологических состояний [156, 198, 203, 243, 281], связанных с бронхелегочными, сердечно-сосудистыми [159, 240, 267] и раковыми заболеваниями [268, 279], атеросклерозом [181, 264], нейродегенеративными заболеваниями при старении головного мозга [259, 277], заболеваниями выделительной системы [247, 261], ревматоидным артритом [180, 242], сахарным диабетом [197], разрешением биологических тканей при развитии воспалительной реакции [232].

В физиологических условиях подавляющее количество молекулярного кислорода потребляется в клетке митохондриальным ферментом цитохромоксидазой [91, 92]. В настоящее время понятие «токсичных молекул» для свободных радикалов устарело, так как генерация умеренных количеств АФК является совершенно необходимым элементом клеток всех типов [274]. Наиболее известные классические представления о защитной роли АФК касаются их участия в неспецифическом иммунитете, в частности, в процессах фагоцитоза [69] и в микросомальном окислении самых разнообразных химических соединений [254] при выполнении детоксицирующей функции. Кроме того, АФК могут выступать в клетках в качестве «двойных агентов», которые, с одной стороны, способны инициировать интенсивный окислительный стресс с последующим повреждением и гибелью клеток [211]. С другой стороны, данные соединения могут действовать в качестве сигнальных молекул, индуцирующих ряд молекулярных, биохимических и физиологических реакций, способствуя формированию адаптивных механизмов и повышению устойчивости организма [211, 274].

Одним из показателей степени свободнорадикального окисления и оксидативного стресса является концентрация малонового диальдегида (МДА) – вторичного продукта липопероксидации, оценка которого важна для уточнения механизмов различных патологических ситуаций [19]. Он образуется при разрушении свободными радикалами полиненасыщенных жирных кислот и

«склеивает» белковые аминокислоты, провоцируя образование липид-белковых комплексов, не способных растворяться. Является органическим соединением с трехчленной углеродной цепью и двумя альдегидными группами на концах, реагирует с тиобарбитуровой кислотой (ТБК) с образованием триметинового комплекса, имеющего розовую окраску, в качестве продукта реакции [51]. В образец крови, сыворотки или гомогената ткани последовательно добавляют 1 % раствор детергента (третон Х-100 или дезиксихолат), 0,6 М раствор HCl и 0,06 М рабочий раствор ТБК: образец инкубируют при постоянной температуре 95 градусов по Цельсию в течение 30-60 минут. Измеряют оптическую плотность полученной смеси с розовой окраской на спектрофотометре при 532 нм. Контролем служит смесь с теми же реагентами, где гомогенат заменен на дистиллированную воду [52]. Количество образованного триметинового комплекса соответствует количеству прореагировавшего МДА, поэтому, исходя из оптической плотности изучаемого образца, возможно определить концентрацию этого маркера.

В соответствии со своими свойствами, МДА используется как маркер окислительной модификации липидов и степени окислительного стресса в организме. Кроме того, МДА способен реагировать с ДНК и формировать различные аддукты и нерастворимые конгломераты, то есть несет в себе мутагенный потенциал [19]. Его повреждающее действие связано с нарушением структурно-функционального состояния биологических мембран, что изменяет конформационную подвижность полипептидной цепи, которая в свою очередь необходима для нормального функционирования ферментов, рецепторов и каналобразующих белков. Как итог, функциональная активность этих веществ ингибируется, нарушается активность  $Ca^{2+}$ -АТФ-азы и удаление  $Ca^{2+}$  из клетки. Окисленные фосфолипиды, накапливаясь в результате активации свободнорадикального окисления, образуют перекисные кластеры, что приводит к образованию гидрофильных пор в гидрофобной области мембраны и увеличению ее проницаемости [79]. Дальнейшее увеличение количества продуктов перекисного окисления липидов может стать основой фрагментации и

разрушения биомембран. Увеличение параметров малонового альдегида при этом происходит параллельно с заметным снижением активности глюкозо-6-фосфатазы в эндоплазматическом ретикулуме, а также различных АТФ-аз и ацетилхолинэстеразы в эритроцитах. МДА химически активен и токсичен, оказывает повреждающее действие, связанное с нарушением структурно-функционального состояния биомембран, способствует увеличению их проницаемости для ионов кальция, что может играть важную роль в возникновении избытка ионов кальция в клетке с реализацией его повреждающего действия [135].

При функционировании здорового организма клеточная защита осуществляет свои защитные реакции от разрушающего действия при свободнорадикальных процессах с помощью следующих механизмов: управления уровнем использования кислорода дыхательной цепью клетки, что сопровождается модуляцией скорости образования АФК; функционированием ферментных и неферментных компонентов антиоксидантной системы [74, 203, 211].

Оценку работы АОС возможно осуществлять с помощью неинвазивных методов, что является постоянной задачей клинической лабораторной диагностики для определения патологических состояний организма [51]. При этом эти методы должны обладать высокой селективностью в мониторинге параметров окислительного метаболизма, а также давать интегральную оценку его сдвигов при диагностике различных патологических процессов. Один из подобных методов – анализ биохемилюминесценции – базируется на исследовании биологических жидкостей и основан на визуализации эмиссии квантов света [103]. В целом, хемилюминесценция классифицируется следующим образом: билюминесценция (свечение некоторых организмов, связанное со специфическими ферментативными реакциями), сверхслабое свечение (собственная ХЛ клеток и тканей, которая обусловлена метаболизмом АФК, азота и липидов, но интенсивность свечения очень мала), усиленная ХЛ (свечение, усиленное за счет введения специальных веществ, усиливающих ХЛ-сигнал при

взаимодействии с конкретными АФК) и индуцированная ХЛ (свечение клеток, которое вызвано действием индукторов, запускающих метаболические каскады, приводящие к генерации АФК). В этой методике нашла свое применение реакция Фентона, способная показывать интенсивность образования свободных радикалов в биосубстрате. При смешивании растворов металлов переменной валентности, в частности двухвалентного железа и перекиси водорода, генерируется сильнейший окислитель – гидроксильный радикал, который обладает способностью окислять любое органическое вещество [51, 103].

У отечественных и зарубежных ученых нашли широкое применение химические индукторы, которые способны избирательно влиять на то или иное звено каскада вторичных посредников, приводящих к активации клетки [24]. Благодаря работам Р. Аллена с соавт. [152], широкое применение получило использование в качестве химического усилителя ХЛ – люминола (взаимодействие окисленных форм АФК с супероксидным радикалом или перексидом водорода при окислении люминола). Кроме того, широкое применение люцигенина [246], который также используется для обнаружения супероксидного радикала, но с несколько иным механизмом действия по сравнению с люминолом. В современных исследованиях могут использоваться большое количество индукторов, реализующих феномен «респираторного взрыва» как важнейший компонент внутриклеточного киллинга в фагоцитах.

В биомедицинских исследованиях для записи интенсивности хемилюминесценции применяется биохемилюминометр с использованием биологической пробы, растворов двухвалентного железа и перекиси водорода [51]. Время измерения составляет от 30 до 60 секунд. Во многих работах используются полный выход зарегистрированного излучения ( $S$ ) (светосумма), максимальная интенсивность свечения ( $I_{\max}$ ) и тангенс угла наклона заднего фронта импульса излучения ( $\text{tg}\alpha$ ). Реакция Фентона приводит к образованию неустойчивого тетроксид (тетроксид трижелеза), распадающегося с выделением кванта света [230].

Установлено, что антиоксидантная система оказывает регуляторную функцию при контроле свободнорадикального окисления. В различных метаболических реакциях жизненно важными элементами являются антиоксиданты, участвующие в поддержании гомеостаза. Антиоксидантная система включает в себя низкомолекулярные антиоксиданты, а также антиоксидантные ферменты, которым относятся супероксиддисмутаза (СОД), каталаза, глутатион-зависимые пероксидазы и трансферазы [198], которые являются высоко специфичными и реализуют свой механизм действия против конкретных АФК.

Основным ферментом, относящимся к числу антирадикальных энзимных механизмов, относят СОД, свойства и структура которого всесторонне изучены. Этот фермент действует на супероксидный радикал, катализируя реакцию с образованием пероксида водорода и триплетного кислорода [92]. При повышении концентрации вышеуказанного свободного радикала индуцируется синтез СОД. По сравнению со спонтанной дисмутацией супероксидного радикала, скорость этой реакции более чем в 10000 раз выше. В организме млекопитающих выделяются 3 основные изоформы этого фермента: медь-цинковая (СОД<sub>1</sub>), состоящая в основном внутри клеток и во внеклеточных жидкостях человека и высших животных, марганцевая (СОД<sub>2</sub>), которая обнаружена у прокариот и эукариот и находится в цитозольной фракции печени в матриксе митохондрий с характерной особенностью резистентности к действию пероксида водорода и индуцибельности, а также экстрацеллюлярная (СОД<sub>3</sub>), которая находится во внеклеточном матриксе и является водорастворимой и устойчивой в различных органических растворителях [198]. Показано, что СОД<sub>3</sub> выполняет важную функцию в защите от перепроизводства супероксидного радикала [223] и пероксида водорода [252].

Наибольшая активность этого фермента в организме человека наблюдается в некоторых областях мозга, печени и тестикулах, а в щитовидной и поджелудочной железах, эритроцитах и легких, напротив, отмечается его низкая активность. Регуляция СОД осуществляется по принципу отрицательной



обратной связи, так как избыточная продукция пероксида водорода приводит к угнетению его активности. При торможении генерации супероксидного радикала СОД реализует свое защитное действие в качестве природного мембрано- и цитопротектора. Кроме того, существуют и специфические ингибиторы фермента, в том числе в очагах патологии с низким уровнем рН может произойти его инактивация [138].

Интересно отметить, что токсичность пероксида водорода значительно меньше, чем супероксидного радикала, но, образуясь под действием СОД, он участвует в иницировании процессов ПОЛ, нарушении проницаемости мембран, взаимодействует с ДНК и способен создать продукт окисления в молекуле гемоглобина – метгемоглобин. Однако если в организме успешно функционирует вторая линия антиоксидантной защиты, эти токсичные эффекты проявляться не будут, благодаря ферментам каталаза и глутатионпероксидаза [138].

Каталаза представляет собой тетрамер-гемопропротеин, участвующий в реакциях разложения пероксида водорода на воду и кислород [18]. Этот фермент у аэробных клеток локализован в пероксисомах, долго сохраняет свою высокую активность, почти не требуя энергии для активации [144], при этом наибольшая активность каталазы у человека отмечается в печени и эритроцитах, а меньшая – в мозге, скелетных мышцах, поджелудочной железе и легких [49]. Энзим имеет большую молекулярную массу, что препятствует попаданию внутрь клетки, в связи с чем имеется предположение, что защитная роль этого фермента вне клетки незначительна из-за потери активности во внеклеточных жидкостях [237]. Реализует свое действие по двум путям: разлагает пероксид водорода до воды и триплетного кислорода и катализирует окисление перекисью различных эндогенных и экзогенных субстратов (этанола, метанола и др.). Кроме того, каталаза связывает НАДФ•Н и высвобождает его во время нахождения клетки в окислительном стрессе, то есть действует как регуляторный белок.

Существует предположение о том, что АФК могут играть важную роль в повреждении тканей, вызванном физической нагрузкой [188]. В настоящее время однозначно показано, что многие нарушения на клеточном, тканевом или

органном уровне, наблюдаемые либо сразу после тяжелой физической нагрузки, либо после нее, могут быть связаны с образованием АФК. Существуют как прямые, так и косвенные доказательства того, что тяжелые физические упражнения усиливают выработку свободных радикалов в скелетных мышцах и других тканях. Хотя повышенный поток кислорода через митохондриальную цепь переноса электронов, вероятно, является основным источником образования свободных радикалов, в определенных физиологических условиях и в определенных тканях могут быть задействованы и другие пути [270].

Свободнорадикальное окисление может быть активировано, когда упражнение выполняется в сочетании с гипоксией-реоксигенацией, такой как ишемическое сокращение и высокоинтенсивный спринт. Активация полиморфно-ядерных нейтрофилов обеспечивает дополнительный источник АФК, когда физическая нагрузка вызывает первоначальное повреждение тканей (независимо от того, окислительный характер или нет) и/или запускает реакцию острой фазы иммунной системы [275]. Кроме того, эти механизмы образования свободных радикалов не являются взаимоисключающими, поэтому окислительное повреждение может усиливаться в течение и после острой физической нагрузки. Общие последствия опосредованного физическими упражнениями образования свободных радикалов все еще изучаются. Острые и хронические физические нагрузки существенно влияют на различные антиоксидантные системы в клетке. Активацию антиоксидантных ферментов во время острой физической нагрузки можно рассматривать как защитный механизм в ответ на повышенную выработку свободных радикалов [160].

Длительные тяжелые физические нагрузки могут вызывать временное снижение активности антиоксидантных ферментов. При этом во время оценки влияния физических упражнений на различные антиоксидантные системы, следует иметь в виду, что многие антиоксиданты обладают перекрывающимися защитными функциями, которые одновременно взаимодействуют и компенсируют друг друга [207]. Таким образом, основной функцией антиоксидантных ферментов является поддержание на определенном уровне

концентрации АФК, необходимых для ПОЛ и ряда других биохимических процессов в клетке [151, 170]. Это вызывает особенный интерес в исследовании приспособления организма на биохимическом уровне, связанный с воздействием разных факторов, в том числе физических нагрузок различной мощности.

### ***1.3. Особенности реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку***

Физическую работоспособность человека характеризуют физиологические индикаторы, где одними из наиболее информативных являются гемодинамические параметры. Для их мониторинга применяют функциональные пробы с использованием нагрузок различной интенсивности, что позволяет установить особенность реакции организма на стресс-фактор, а также время восстановления физиологических функций [8].

При воздействии физических нагрузок в организме может происходить функциональная перестройка [13, 17], где первостепенным фактором адаптационных перестроек является состояние сердечно-сосудистой системы [21, 33, 34]. Тип, интенсивность нагрузки, возраст и тренированность человека являются факторами, определяющими специфические изменения в ответ на двигательную активность [54]. Известно, что эти процессы сопровождаются интенсификацией обменных, энергетических и пластических процессов с выделением продуктов распада, усиливается кислородозависимые процессы. Таким образом, эти процессы влияют на кратковременную и долговременную адаптацию, направленную на оптимизацию энергетического баланса. Поэтому интегральным индикатором, отражающим адаптационные возможности ССС и дыхательной системы, является параметр максимального потребления кислорода, который анализируется при проведении различных функциональных проб [57, 60, 61, 64].

Изменения физиологических функций ССС характеризуются сдвигами в микроциркуляторном русле, скелетных мышцах и сердце, что напрямую влияет на объем циркулирующей крови. На эти изменения оказывают влияние такие

факторы, как тип двигательной активности, специфичность тренировочного процесса, продолжительность занятий физическими упражнениями, гендерная принадлежность, генетические факторы, длина и масса тела [66].

Нельзя не отметить влияние физических нагрузок на изменчивость гемодинамических индикаторов. Прежде всего, они оказывают воздействие, на минутный объем крови. Как у тренированного контингента лиц, так и у нетренированного, минутный объем крови является главным фактором, определяющим МПК.

Изменения МОК при физической активности прямо пропорциональны сдвигам ударного объема, кроме того, одной из характеристик, определяющей МОК, является частота сердечных сокращений. Этот параметр можно математически вычислить путем произведения УО и ЧСС. Следует отметить разнонаправленные изменения УО в зависимости от уровня тренированности человека, в тоже время, ЧСС не подвержена значительным колебаниям от этого фактора. Наиболее значимые отличия видны в максимальных значениях УО и МОК: 75мл против 200мл и 15л/мин против 37 л/мин. Существует корреляционная взаимосвязь между размером сердца и объемом выполненной работы, МПК, МОК и УО, что подтверждают многочисленные исследования [77].

Частота сердечных сокращений также зависит от разных ситуативных изменений (возраст, пол, окружающая среда, уровень адаптационных резервов, положение тела в пространстве) [175, 182]. В положении стоя он увеличивается в сравнении с горизонтальным положением, кроме этого, он связан с биологическими ритмами человека. Также, существует зависимость ЧСС от уровня тренированности и вида спорта, где отмечается снижение ЧСС в покое и характеризуется в качестве более экономичной работы организма. Следовательно, при проведении функциональных проб, этот показатель является стандартным для мониторинга реакции организма на физическую нагрузку [189, 194].

При работе умеренной мощности наблюдается линейная зависимость с частотой сердечных сокращений, где этот параметр в начале работы может выраженно увеличиваться, а затем стабилизироваться до наиболее оптимального

уровня при выполнении работы. Предельно достижимое значение ЧСС достигает при работе в максимальной зоне мощности, следовательно, этот параметр пропорционален величине мышечной работы. Обычно при уровне нагрузки 1000 кгм/мин ЧСС достигает 160-170 в минуту, по мере дальнейшего повышения нагрузки сердечные сокращения ускоряются более умеренно и постепенно достигают максимальной величины – 170-200 в минуту. При максимизации значения ЧСС наблюдается выраженное снижение эффективности сердечной мышцы за счет уменьшения времени диастолы, снижения наполнения желудочков кровью и выраженном уменьшении УО [195, 196, 200]. Использование функциональных проб с регистрации ЧСС в максимальном значении может привести к возникновению дезадаптационных состояний, и они целесообразны в использовании в спортивной и космической медицине. По рекомендации ВОЗ допустимыми считаются нагрузки, при которых ЧСС достигает 170 в минуту и на этом уровне обычно останавливается при определении переносимости физических нагрузок и функционального состояния сердечно-сосудистой и дыхательной систем [125].

Во время физических нагрузок происходят сдвиги в показателях артериального давления. Существует градиент давления, направленный от артерий к артериолам и капиллярам и от периферических вен к центральным [217, 229]. За счет градиента давления кровь движется от сердца к артериолам, далее – к капиллярам, венам, венам и обратно к сердцу. Этот механизм позволяет поддерживать изменчивость кровяного давления, кроме того, оно зависит от пульсации кровотока и эластическими свойствами кровеносных сосудов. Существует зависимость пульсовой волны от типа сосуда, к примеру, в аорте ее скорость составляет от 3 до 5 м/с, а в мелких артериях конечностей составляет 15-40 м/с. Существенное напряжение в функционировании сердечной мышцы, оказывает статическая нагрузка, которая концентрирует увеличение давления в грудном отделе [126, 128, 132]. Поэтому лицам с различными функциональными нарушениями, в том числе с гипертонической болезнью, противопоказано выполнение этого вида физических нагрузок. Поднимание и перемещение

тяжелых предметов способствует увеличению систолического и диастолического АД, увеличивая при этом кислородный долг в скелетных мышцах. Это сказывается на эффективности их работы: при расширении резистивных сосудов и отсутствии изменений в показателях артериального давления, питательные вещества, кислород, переносимые с кровотоком не обеспечивают возникающие потребности и обуславливают невозможность их дальнейшего сокращения. Таким образом, АД является системообразующим параметром в оценке адаптивных изменений организма при двигательной активности, однако механизм прессорной реакции не до конца изучен. Существует мнение о связи этого механизма с увеличением концентрации ионов калия. Кроме того, существует мнение и о зависимости между типом сокращения мышечных волокон, объемом активной мышечной массы, мощности физической нагрузки, условий окружающей среды с характером разнонаправленной изменчивости артериального давления. [139, 140]. При глобальной циклической работе систолическое АД в большом круге кровообращения возрастает в линейной зависимости от увеличения МОК и потребления кислорода и может достигать 200 и более мм. рт. ст. Аналогичная зависимость прироста АД наблюдается и от повышения ЧСС. В малом круге кровообращения (в легочной артерии) АД даже при максимальной работе возрастает намного меньше – САД с 20 до 30-35 мм. рт. ст., а ДАД с 10 до 12-15 мм. рт. ст. При хорошем состоянии аппарата регуляции ССС АД восстанавливается через 5-6 минут после завершения нагрузки.

В формировании параметра насосной функции сердца – ударного объема – большую значимость оказывают факторы, обусловленные объемом циркулирующей крови, сократимостью миокарда, АД, ОПСС, временными характеристиками изоволюметрического сокращения и изгнания левого желудочка. За счет физической работы увеличивается объем мышечной ткани, что приводит к увеличению массы тела, и это сопровождается смещением конечно-диастолического объема левого желудочка (КДО), гипертрофией межжелудочковой перегородки и задней стенки левого желудочка [174].

Эти изменения способствуют отличительным изменениям тренированных людей, таким как увеличение УО, МОК, и снижению ЧСС в состоянии покоя. Положение тела также оказывает влияние на изменчивость УО, при этом, показатель выражено увеличивается в начале работы и стабилизируется при циклической работе в условиях отсутствия изменений зоны мощности. При ЧСС около 130 уд/мин значение УО достигает своей максимальной величины [177]. Скорость прироста УО постепенно снижается при увеличении мощности работы, и дальнейшая интенсификация кровотока происходит за счет увеличения ЧСС.

Минутный объем крови (МОК) или сердечный выброс (СВ) являются одним из главных показателей функции сердца, который подвержен специфичной дифференциации в зависимости от состояния покоя и воздействию физической нагрузки. Этот индикатор определяется множеством факторов и может быть математически рассчитан как произведения УО и ЧСС [209, 210]. Существуют данные о зависимости сдвигов МОК при воздействии интенсивной физической работы, что сопровождается увеличением коэффициента утилизации кислорода. За счет данного механизма происходит выраженное увеличение метаболизма в сравнении с уровнем основного обмена, при этом, доставка кислорода может многократно увеличиваться. Изменения сердечного выброса происходят главным образом за счет более полного опорожнения желудочков и использования резервного объема крови [201, 204].

Сосудистая система, включая посткапиллярные сосуды и вены, является важнейшим фактором изменчивости МОК при разных функциональных состояниях организма. При сокращении скелетных мышц происходит механизм мышечного насоса, действие которого направлено на вазоконстрикцию вен нижних конечности и увеличению оттока крови [209, 210]. В этих процессах участвуют органы кроверазрушения, что приводит усиленному притоку крови к правому желудочку и быстрому заполнению сердца [213, 216, 222]. Во время работы в зоне субмаксимальной мощности наблюдается снижение тонуса вагуса, а в качестве ответной реакции происходит увеличение сердечного выброса. Совокупное снижение тонуса блуждающего нерва и активация симпатической

стимуляции является особенностью изменения МОК при работе большой мощности [208, 218]. При этом, наблюдается раннее снижение УО, и МОК возрастает исключительно за счет ЧСС. При внутрисердечном механизме Франка-Старлинга во время растяжения типичных кардиомиоцитов и большего выброса крови в аорту, а также при влиянии рефлекса Бейнбриджа, за счет увеличения частоты сердечных сокращений в ответ на увеличение объема циркулирующей крови увеличивается МОК и происходит разгрузка правого желудочка. В этих механизмах участвуют механорецепторы в устьях полых вен, откуда по афферентной импульсации информация достигает сосудодвигательного центра, и по эфферентным волокнам происходит активация симпатического отдела ВНС, вызывая тахикардию [231, 233].

При воздействии нагрузочных комплексов отмечаются изменения в показателе общего периферического сосудистого сопротивления. Его резкое уменьшение в сосудах интенсифицирует кровоток во время мышечной работы [235, 239]. Снижение этого параметра напрямую зависит от рефлекторного расширения сосудов и возникновением кислородного долга в работающих мышечных волокнах, где уже через минуту после начала работы наблюдается минимальное значение ОПСС [249].

Следует отметить, что увеличение МОК при физической работе не способно обеспечить потребность энергетического баланса и оптимальное кровообращение, для чего происходят процессы перераспределения регионального кровотока [265]. Это сопровождается изменениями в терморегуляции при сокращении мышц. Выраженность адаптационных реакций наблюдаются во временном интервале физической работы от одной до трех минут, и уровень физической подготовленности является определяющим фактором в вышеизложенных процессах. В этих механизмах присутствует интенсификация аэробного гликолиза для энергообеспечения работающих мышц, которая проявляется за счет усиления утилизации кислорода до 80 % в сравнении с состоянием покоя. Такие изменения сопровождаются возрастанием удельного веса кровотока в мышечных волокнах с 21 % в покое до 88 % при максимальной работе [276], что способствует



возникновению кислородного долга, ликвидация которого происходит после окончания работы. Существует и коронарное кровообращение, в которой наблюдается развитая сеть капиллярных сосудов и обильное кровообращение, что обуславливает способность сердечной мышцы получать значительно более количество кислорода в сравнении с остальными органами.

Таким образом, видны изменения показателей гемодинамики при воздействии физических нагрузок, из-за резкого усиления кровотока. Необходимо отметить, что система кровообращения – центральное звено, обеспечивающее согласованное взаимодействие между организмом как целостной системой и отдельными элементами этой системы [287, 288]. Согласованность функционального взаимоотношения – универсальный основополагающий принцип, обеспечивающий оптимальное функционирование человеческого организма. Адекватная оценка системного и регионарного кровообращения и состояния организма в целом позволит приблизиться к пониманию характера внутрисистемных отклонений в сердечно-сосудистой системе во время структурно-функциональных перестроек, происходящих в организме не только в состоянии физиологического здоровья, но и при патологических дисфункциях. В условиях продолжающегося ухудшения здоровья населения, в том числе среди студенческой молодежи, остаются актуальными вопросы динамического наблюдения за функциональным состоянием организма и эффективным управлением здоровьем, с учетом особенностей регуляторных механизмов. Кроме того, имеется потребность физиологического обоснования дисрегуляторных процессов при дисфункциональных нарушениях для получения адекватной диагностической информации, предупреждения дальнейшего развития негативных состояний своевременной коррекции проводимых мероприятий с учетом индивидуальных адаптационных возможностей.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Общая характеристика объектов и методов исследования

Исследование выполнено на базах Нижегородского государственного агротехнологического университета, Приволжского исследовательского медицинского университета и Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского.



Рисунок 1 – Структура и дизайн исследования

Сформулированные цели и задачи определили группы студентов и дизайн исследования (рис. 1).

Проводили анализ резервов адаптации практически здоровых студентов мужского пола в возрасте 18-21 год (таблица 1), которые проходят обучение по

дисциплине «физическая культура и спорт» согласно учебного расписания, и имеющих по результатам периодического медицинского осмотра, проведенного на базе Института педиатрии Приволжского исследовательского медицинского университета, основную и подготовительную группу для занятий физической культурой [111, 116]. В группу включали некурящих студентов с умеренным режимом двигательной активности и индексом массы тела в пределах 18,2-23,8 кг/м<sup>2</sup>. Все обучающиеся, включенные в исследование, подписывали информированное согласие на участие в нем.

Первоначально уточняли оценку согласованности параметров, полученных с помощью расчета по формулам, с аналогичными показателями, определенными системой спортивного тестирования «MedicalSoft». Для этого были отобраны 100 студентов совокупной выборки, где у каждого испытуемого измеряли артериальное давление, проводили расчет гемодинамических параметров по общепринятым формулам, а затем тестировали на аппаратном комплексе и сравнивали статистическую значимость полученных показателей. Вначале осуществлялось попарное сравнение полученных данных с помощью параметрического t критерия Стьюдента (таблица 1).

Таблица 1

Результаты гемодинамических показателей студентов в состоянии физиологического покоя, полученные с помощью прибора и расчетов по общепринятым формулам (n=100), M±m

Параметр	Формулы (n= 100)	Прибор (n= 100)	P
ЧСС, уд/мин	73,4±5,9	74,1±5,8	0,451
УО, мл	72,6±6,3	72,2±6,1	0,483
СВ, л/мин	5,3±0,6	5,4±0,5	0,674
ОПСС, дин·с·см <sup>-5</sup>	1398,9±86,7	1381,9±85,3	0,579
СИ, л/мин/м <sup>2</sup>	2,8±0,4	2,8±0,3	0,926

*Примечание: P – достоверность отличий формулами и прибором.*

Установлено, что статистически достоверно значимые между двумя разными моделями измерения отсутствуют. Производилось сопоставление

индикаторов с определением р-критерия для каждой совокупности следующих показателей: ЧСС ( $p=0,451$ ), УО ( $p=0,483$ ), СВ ( $p=0,674$ ), ОПСС ( $p=0,579$ ) и СИ ( $p=0,926$ ).

Далее для оценки согласованности результатов измерений гемодинамических индикаторов разными методами построили диаграммы Бленда-Альтмана [164], в которой на оси абсцисс находится средняя по паре измерений, а по оси ординат – абсолютная погрешность (рис. 2А, рис. 2Б, рис. 3А, рис. 3Б, рис. 4).

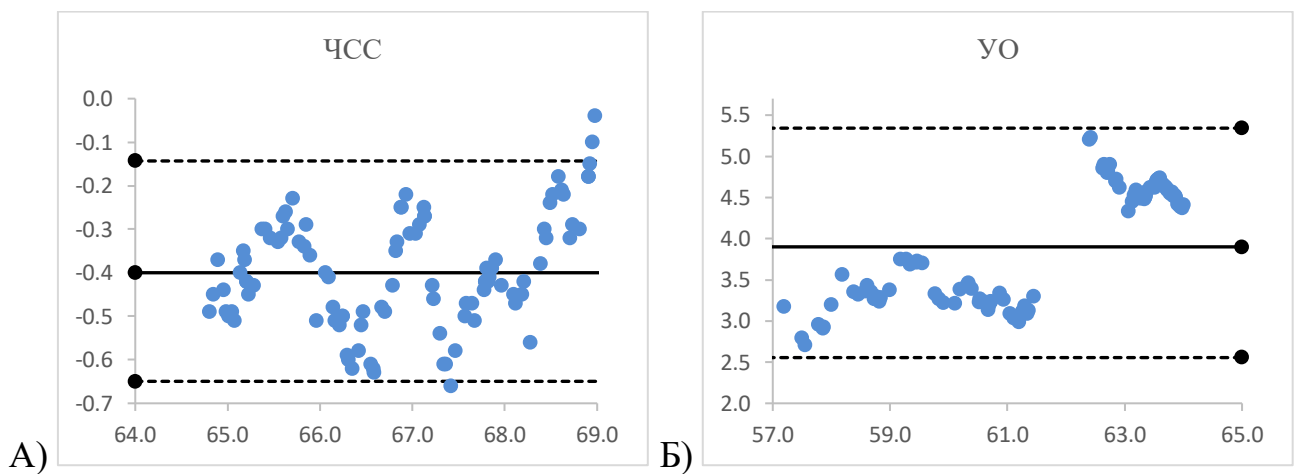


Рисунок 2 – Диаграмма Бленда-Альтмана для абсолютных погрешностей измерений частоты сердечных сокращений (А) и ударного объема (Б)

На основании диаграммы среднее значение абсолютной погрешности в параметре ЧСС оказалось равным  $-0,4$  уд/мин, что показывает ожидание незначительно меньших результатов при измерении с помощью системы спортивного тестирования. Верхняя граница абсолютной погрешности равна  $-0,14$  (95 % ДИ), а нижняя интерпретировалась в значении  $-0,65$  (95 % ДИ). Ожидаемые максимальные отклонения измерений не будут превышать  $0,1$  уд/мин. Для ударного объема абсолютная погрешность равна  $3,9$  мл, ее верхняя граница –  $5,3$  (95 % ДИ), нижняя –  $2,6$  (95 % ДИ). Максимальные отклонения полученных результатов не превышают  $0,7$  мл.

При изучении СВ, значение абсолютной погрешности получилось равным  $0,0003$  л/мин, а для общего периферического сосудистого сопротивления значение

оказалось  $-6,89 \text{ дин}\cdot\text{с}\cdot\text{см}^{-5}$ . Нижняя граница погрешности составляет  $-0,26$  (95 ДИ) для сердечного выброса и  $-8,6$  (95 % ДИ) для ОПСС, верхняя для сердечного выброса равна  $0,26$  (95 % ДИ), для ОПСС составляет  $-5,2$  (95 % ДИ). Ожидаемое максимальное отклонение при измерении программно-аппаратным комплексом не превышает  $0,13 \text{ л/мин}$  для сердечного выброса и  $0,9 \text{ дин}\cdot\text{с}\cdot\text{см}^{-5}$  для общего периферического сосудистого сопротивления.

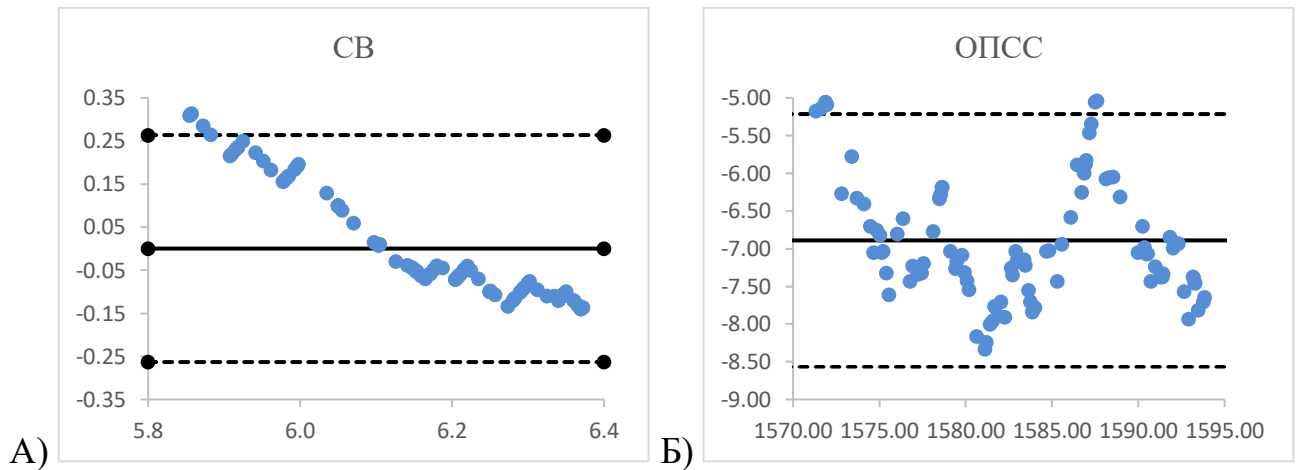


Рисунок 3 – Диаграмма Бленда-Альтмана для абсолютных погрешностей измерений сердечного выброса и общего периферического сосудистого сопротивления

При изучении параметра СИ среднее значение абсолютной погрешности оказалось на уровне  $-0,3 \text{ л/мин/м}^2$ . Значение верхней границы ожидаемых результатов наблюдалась в значении  $0,2$ , нижней составило  $-0,7$ . На основании полученных данных, максимальное отклонение при тестировании прибором не будет превышать  $0,2 \text{ л/мин/м}^2$ .

Одной из задач явилось изучение возможностей диагностического комплекса и валидизация полученных результатов при его использовании. При этом, использовалась альтернативная методика в виде ручного расчета по общепринятым формулам для получения и обработки изучаемых параметров. На основании результатов параметрического критерия Стьюдента и теста Бленда-Алтмана для каждого показателя, результаты, практически не отличаются, что позволяет сделать вывод о достаточной валидности системы спортивного

тестирования «MedicalSoft» и допустимости ее использования в качестве инструмента исследования функциональных резервов студентов в различных условиях.

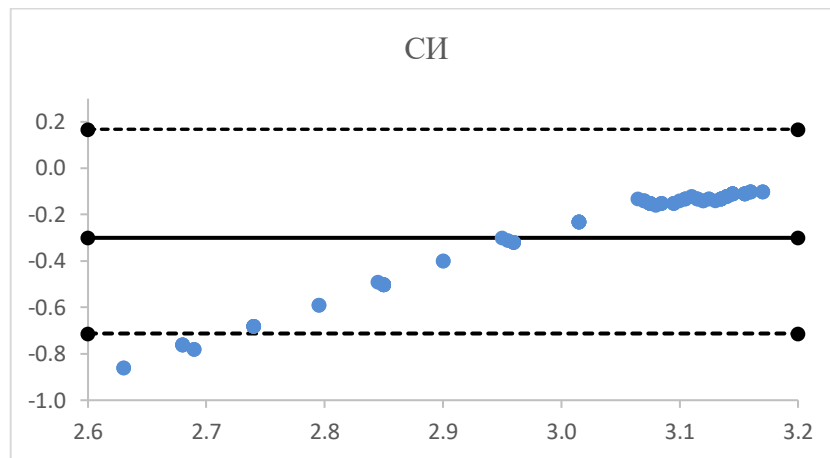


Рисунок 4 – Диаграмма Бленда-Альтмана для абсолютных погрешностей измерений сердечного индекса

На первом этапе сформировали группу студентов основной медицинской группы для занятий физической культурой и спортом ( $n=70$ , таблица 2), у которых изучали показатели гемодинамики, ВСР и метаболического статуса в состоянии физиологического покоя и затем – на стандартную физическую нагрузку в виде 5 упражнений комплекса «Готов к труду и обороне» [107, 108]. Экспериментальная группа включала в себя студентов 1 курса ( $n=25$ ), 2 курса ( $n=25$ ) и 3 курса ( $n=20$ ). Выбирали упражнения, которые, в соответствии со степенями структуры Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса «ГТО», позволяют оценить уровень развития физических качеств и прикладных двигательных умений и навыков (координационных способностей, скоростных и силовых возможностей) в условиях ауксотонического режима работы скелетных мышц [93, 99, 104]. Эти упражнения включены в реализацию дисциплины «физическая культура и спорт» на кафедре физической культуры и спорта для тестирования физической подготовленности обучающихся студентов (беговые и силовые упражнения).

Этапы исследования и объем изученного материала

Этапы исследования	Объем исследования	Методы исследования
Формирование контингента испытуемых студентов	2137 человек	Ретроспективное исследование, обработка документации с установленной группой для занятий физической культурой и спортом
Формирование группы испытуемых 1, 2 и 3 курса	438 человек	Проспективное исследование
Оценка функционального состояния организма при воздействии стандартной физической нагрузки, а также в постнагрузочном периоде	70 человек	Исследование параметров системной гемодинамики, вариабельности сердечного ритма и окислительного метаболизма в процессе нагрузочного тестирования (система спортивного тестирования «MedicalSoft», упражнения комплекса «ГТО»), кластерный анализ методом К-средних (программа «Statistica 10.0»)
Оценка уровня адаптационных резервов сердечно-сосудистой системы на основе дифференциации студентов по реактивности к физической нагрузке	70 человек	Исследование и парное сравнение показателей системной гемодинамики, вариабельности сердечного ритма после воздействия стандартной физической нагрузки с использованием двумерного анализа (система спортивного тестирования «MedicalSoft», программа «Graph»)
Верификация формулы для расчета функционально-метаболического параметра	70 человек	Проведение корреляционно-регрессионного анализа показателей системной гемодинамики, вариабельности сердечного ритма и окислительного метаболизма (пакеты статистических программ «Statistica 10.0» и «Excel 2016»)
Оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы с помощью тонометрического и аппаратного способов	438 человек	Исследование системной гемодинамики студентов 1, 2 и 3 курса с помощью расчетов по общепринятым формулам, а также с применением программно-аппаратного способа (система спортивного тестирования «MedicalSoft»)
Оценка окислительного метаболизма и определение интегрального уровня адаптационных резервов	438 человек	Исследование биохимических показателей крови и расчет интегрального функционально-метаболического параметра у студентов 1,2 и 3 курса с помощью верифицированной формулы

Данный комплекс каждым студентом выполнялся последовательно: прыжок в длину в количестве 3-х повторений подряд; скручивания корпуса в положении лежа на спине; бег на 100 метров на максимальной скорости;

челночный бег на дистанции 3x10 метров с максимальной скоростью; подтягивания из виса на перекладине до достижения максимального количества повторений). Последовательное выполнение серии вышеуказанных упражнений обусловлено необходимостью оценки вегетативных функций в период вработывания в качестве выявления механизмов экстренной мобилизации [14]. Отдых между каждым упражнением составлял 5 минут для восстановления алактатных анаэробных резервов в скелетных мышцах и ликвидации кислородного долга [75]. Проведен кластерный анализ показателей гемодинамики и ВСР методом К-средних в изучаемой группе в течение выполнения физических упражнений для оценки процессов срочной адаптации организма. Для исследования реакции окислительного метаболизма на физическую нагрузку, осуществляли забор венозной крови (в количестве 2 мл) осуществлялся утром натощак и затем после выполнения упражнений бег на 100 метров и подтягивания из виса на перекладине.

После отдыха продолжительностью 10 минут, анализировали восстановительные процессы организма студентов. Для этого проводилось повторное тестирование студентов на программно-аппаратном комплексе «MedicalSoft», а затем выполнялся кластерный анализ полученных показателей гемодинамики и ВСР методом К-средних. Изучали гемодинамическую дифференциацию среди групп испытуемых 1-2 курса и 3 курса обучения, по их реактивности к физической нагрузке на основании двумерного анализа, куда включали показатели системной гемодинамики и ВСР, имеющие различное физиологическое значение. Выполняли корреляционно-регрессионный анализ полученных данных, позволяющий оценить взаимосвязи между полученными показателями, и верифицировать формулу для калькуляции функционально-метаболического параметра, как интегративного маркера адаптационных резервов организма. В рамках проведенного этапа исследования показаны особенности функционального статуса и процессы восстановления студентов, которые могут быть использованы для профессионального отбора и мониторинга



функциональной готовности студентов к занятиям физической культурой, а также интенсивным физическим тренировкам.

На втором этапе проводили скрининг состояния системной гемодинамики, ВСР и окислительного метаболизма большого контингента студентов основной и подготовительной групп (n=438) в состоянии физиологического покоя (1, 2 и 3 курсы обучения). При исследовании функционально-метаболического статуса использовались 3 подхода: тонометрический (определение артериального давления и частоты сердечных сокращений с последующей калькуляцией гемодинамических показателей, используя общепринятые формулы для расчетов [Калабин О.В., 2018; Спицин А.П., с соавт., 2018; Свердлов Ю.С., 2014]), а также расчета адаптационного потенциала), аппаратный (с использованием системы спортивного тестирования «MedicalSoft», в том числе с определением статистических и спектральных показателей ВСР) и биохимический (определение интенсивности свободнорадикального окисления и общей антиоксидантной активности с применением метода биохемилюминесцентного анализа на биохемилюминометре БХЛ-07, концентрации МДА в реакции с тиобарбитуровой кислотой, а также активности СОД и каталазы с помощью спектрофотометра ПЭ-5300ВИ). На основании полученных данных, разработали формулу для расчета интегрального функционально-метаболического параметра, с добавлением поправочных коэффициентов. В рамках текущего этапа рассмотрена структура функционально-метаболического статуса студентов с учетом различных курсов обучения, оценен уровень адаптационных резервов сердечно-сосудистой системы и состояния окислительного метаболизма, экспериментально применен ФМП для исследования функциональных резервов.

Критериями исключения из исследования являлись наличие противопоказаний к интенсивным физическим нагрузкам (по данным медицинской документации), в том числе – патологии сердечно-сосудистой и/или дыхательной систем, несоответствие выбранному возрастному диапазону, избыточная масса тела, женский пол, а также отказ от участия в исследовании.

Выборка составила 438 человек, во всех случаях было получено добровольное информированное согласие на проведение исследования и забора венозной крови. Все измерения соответствовали этическим стандартам локального биоэтического комитета Нижегородского государственного агротехнологического университета, разработанный в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» (с поправками 2000 г.), «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ № 266 от 19.06.2003 г.

## ***2.2. Методы исследования***

### ***2.2.1. Тонометрический способ исследования показателей системной гемодинамики***

Определяли антропометрические показатели с использованием стандартных наборов инструментов, прошедших метрический контроль. Определяли длину тела (м), массу тела (кг), фиксировали возраст испытуемых. Оценивали уровень САД, ДАД и ЧСС с помощью автоматического тонометра «Omron M2 Basic» (рис. 5).

Затем определяли параметры гемодинамики: **УО** (мл), **СВ** (л/мин), **ОПСС** (дин·с·см<sup>-5</sup>), **СИ** (л/мин/м<sup>2</sup>), **ПД** (мм. рт. ст.), **СрАД** (мм. рт. ст.), **ППТ** (м<sup>2</sup>).



Рисунок 5 – Автоматический тонометр «Omron M2 Basic»

Дальнейшую калькуляцию гемодинамических параметров проводили с использованием следующих расчетов:

1. Величина **ударного объема** рассчитывалась с применением формулы Старра [59, 271]:

$$УО = 90,97 + 0,54 \times ПД - 0,57 \times ДАД - 0,61 \times В$$

2. Величина **сердечного выброса** рассчитывалась формуле [123]:

$$СВ = УО \times ЧСС$$

3. **Общее периферическое сосудистое сопротивление** определяли по формуле Пуазейля как отношение величины среднего гемодинамического давления к величине сердечного выброса [59]:

$$ОПСС = \frac{СрАД \times 1333 \times 60}{СВ}$$

4. **Сердечный индекс**, который зафиксировали путем соотношения минутного объема кровотока к площади поверхности тела [59]:

$$СИ = \frac{СВ}{ППТ}$$

5. **Пульсовое давление** определяли разностью систолического и диастолического артериального давления [59]:

$$ПД = САД - ДАД$$

6. Расчет **среднего артериального давления** в аорте производился по формуле Хикема [123]:

$$СрАД = \frac{(САД - ДАД)}{3 + ДАД}$$

7. **Площадь поверхности тела** рассчитывалась по формуле:

$$ППТ = \sqrt{\frac{Рост * Вес}{3600}}$$

8. **Адаптационный потенциал** рассчитывался по формуле Р.М. Баевского [11]:

$$\text{АП} = 0,011 * \text{ЧСС} + 0,014 * \text{САД} + 0,008 * \text{ДАД} + 0,014 * \text{В} \\ + 0,009 * \text{МТ} - 0,009 * \text{Р} - 0,27$$

где ЧСС – частота сердечных сокращений, САД – систолическое артериальное давление, ДАД – диастолическое артериальное давление, В – возраст, МТ – масса тела в килограммах, Р – рост человека в сантиметрах

### **2.2.2. Аппаратный способ исследования показателей системной гемодинамики и оценка вариабельности сердечного ритма**

Оценку системной гемодинамики и вегетативной регуляции проводили с помощью метода кардиоинтервалографии при этом демонстрируя взаимодействие симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, которые вовлекаются в любой процесс в организме, в том числе предпатологический. Оценку функционирования сердечно-сосудистой системы в разных состояниях, запись пульсограммы осуществляли с помощью программно-аппаратного комплекса «Система спортивного тестирования «MedicalSoft» (г. Москва, Россия, рис. 6.).

Следует отметить, что данное оборудование соответствует действующим российским и международным стандартам, что подтверждается международной декларацией о соответствии (регистрационный номер ЕАЭС N RU от 26.07.2018). Кроме того, качество данного оборудования было подтверждено международными сертификатами CE Medical и ISO 13485:2016.

Исследование проводилось в положении сидя, в спокойной обстановке при температуре воздуха 20-22 градуса с соблюдением стандартных условий регистрации кардиоритма. Для регистрации ряда кардиоинтервалов производилась запись пульсограммы. Объем анализируемой выборки одного испытуемого при каждой регистрации составлял 256 кардиоциклов. Оценка вариабельности сердечного ритма осуществлялась по интервалам R-R ЭКГ с помощью алгоритма, основанного на подсчете числа пересечений нуля для обнаружения комплексов QRS, которая используется в работе программно-аппаратного комплекса (рис. 7).

Программа проводит анализ полученных значений гемодинамических индексов и параметров сердечного ритма, и затем отображает результаты анализа

состояния ВНС в виде гистограммы на экране персонального компьютера. Состояние системной гемодинамики характеризовали по совокупность следующих параметров: пульсовое давление, среднее артериальное давление, частота сердечных сокращений, ударный объем, сердечный выброс, общее периферическое сосудистое сопротивление, сердечный индекс, ударная работа левого желудочка.

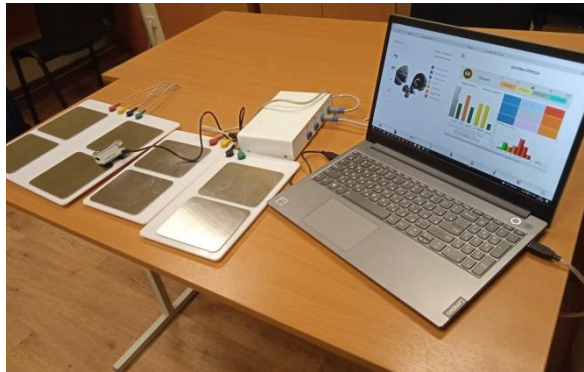


Рисунок 6 – Программно-аппаратное обеспечение «Система спортивного тестирования MedicalSoft»

BCP оценивалась с помощью временных и спектральных показателей кардиоинтервалографии: SDNN, параметр pNN50, общая мощность спектра, абсолютные и относительные значения мощностей спектрального анализа BCP (VLF, LF, HF), отношение значений низкочастотного и высокочастотного компонентов variability сердечного ритма, индекс стресса.



Рисунок 7 – Пример измерения человека с помощью программно-аппаратного комплекса «Система спортивного тестирования MedicalSoft»

### ***2.2.3. Исследование процессов липопероксидации и активности антиоксидантной системы***

У студентов, включенных в данную группу (n=70), медицинским работником осуществлен забор образцов крови из локтевой вены (2мл). Для оценки интенсивности процессов ПОЛ использовали биохемиллюминометр БХЛ-07, позволяющий исследовать кинетические кривые био- и хемиллюминесценции. Принцип действия основан на измерении излучения света, сопровождающем свободнорадикальные и ферментативные процессы в живых организмах. Прибор работает в составе комплекса с персональным компьютером, выполняя функцию выделения светового сигнала, а программное обеспечение обрабатывает полученные данные, позволяет наблюдать кинетику процесса, рассчитывать параметры сигнала, документировать данные опыта (рис. 8). Методика позволяет оценить общую мощность АОС в биологической жидкости и основана на индуцировании хемиллюминесценции пероксида водорода с сульфатом железа с каталитическим разложением пероксида ионами металлов переменной валентности. При этом образуются свободные радикалы, которые выступают инициаторами свободнорадикального окисления с образованием молекулярных продуктов и выделением кванта света (вспышку) которая в течение 30-60 секунд затухает под действием антиоксидантной системы. В исследовании использовались следующие рассчитываемые показатели:  $I_{max}$  и  $1/S$ .

Далее изучали вторичный продукт распада перекисного окисления липидов – концентрацию МДА в плазме крови и эритроцитах. Метод основан на том, что при нагревании в кислой среде продукты ПОЛ разлагаются с образованием МДА, молекула которого взаимодействует с двумя молекулами 2-тиобарбитуровой кислоты (ТБК) с образованием розового триметинового комплекса. Образцы биологических жидкостей инкубировались при постоянной температуре (95°C) в течение 30-60 минут, затем охлаждались и центрифугировались в течение 10 минут при 3000 об/мин (рис. 9А). Оптическая плотность измерялась на спектрофотометре ПЭ-5300ВИ (Россия) при длине волны 532 нм (рис. 9Б). Контролем служит смесь, где биожидкость заменена на дистиллированную воду.

Количество образованного триметинового комплекса соответствует прореагировавшего МДА, поэтому, зная оптическую плотность исследуемого образца, его концентрацию становится возможным вычислить.

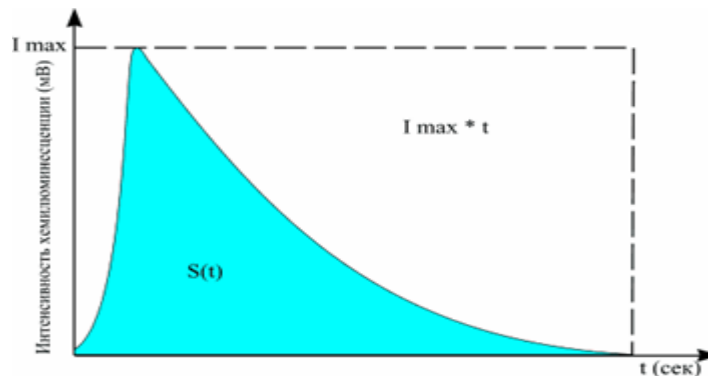


Рисунок 8 – Схематическое изображение кривой биофлуоресценции

Состояние АОС дополнительно характеризовали по активности ферментов, катализирующих утилизацию свободных радикалов. Для определения активности СОД применяли спектрофотометрический метод ингибирования ферментом аутоокисления адреналина в адренохром в условиях генерации супероксидного анион-радикала в щелочных условиях по методу Сирота Т.В. (1999). Об интенсивности аутоокисления адреналина судили по динамическому нарастанию поглощения при длине волны 347 нм, обусловленному накоплением продукта окисления, опережающего по времени образование адренохрома (с максимумом поглощения при 480 нм). Измерение проводилось в кювете с длиной оптического пути 1 см, в которую вносился бикарбонатный буфер (рН = 11), раствор адреналина. После внесения адреналина в пробу содержимое кюветы быстро перемешивалась. Изменение оптической плотности регистрировалась в течение 3 минут. Аналогичным образом обрабатывалась и холостая проба. Для расчета активности СОД использовали величину поглощения холостой и опытной проб. Активность фермента выражалась в ед. ак./г НВ. Использовался спектрофотометр ПЭ-5300ВИ (рис. 9Б).

Активность каталазы определяли с использованием метода Aeble (1952) по расходу пероксида водорода, при его низкой концентрации, для предотвращения ингибирования фермента при высоких концентрациях перекиси. К 2 мл 0,03 %

перекиси водорода приливали 50 мкл биологической жидкости, пробка инкубировалась на водяной бане 7 минут при температуре 37°C. Параллельно для каждой опытной пробы делали контрольную. Интенсивность окраски измеряли при длине волны 240 нм на спектрофотометре ПЭ-5300ВИ (рис. 6Б). Активность каталазы определяли по степени уменьшения оптической плотности и скорости утилизации гидропероксида в опытных пробах в сравнении с контрольными.

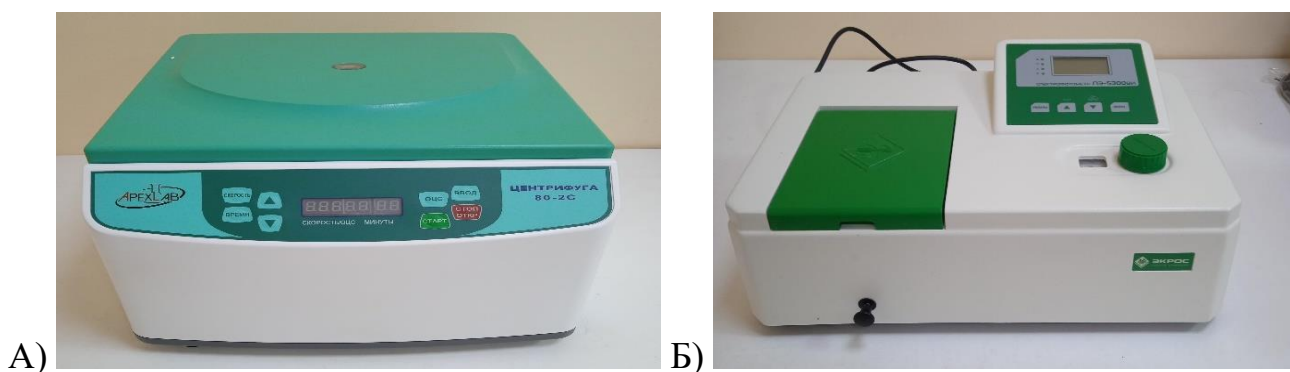


Рисунок 9 – Оборудование центрифуга 80-2С (А) и спектрофотометр ПЭ-5300ВИ (Б)

На основании полученных данных системной гемодинамики, ВСР и параметров окислительного метаболизма сформировали формулу для расчета интегрального коэффициента уровня функциональных резервов организма – **функционально-метаболический параметр (ФМП)** с использованием показателей интенсивности свободнорадикального окисления, МДА, СОД, ЧСС, УО, ОПСС, ТР, рNN50 и добавлением поправочных коэффициентов. Формула для расчета представлена в следующем виде:

$$\text{ФМП} = (1/S + \text{СОД}/100 + \text{МДА} + I_{\text{max}}) - (100/\text{ЧСС} + \text{УО}/100 + 100/\text{ОПСС} + 100/\text{ТР} + 1/p\text{NN50})$$

где ФМП – функционально-метаболический параметр,  $1/S$  – обратный параметр светосумме хемилюминесценции, МДА – малоновый диальдегид,  $I_{\text{max}}$  – максимальная интенсивность свечения, СОД – супероксиддисмутаза, ЧСС – частота сердечных сокращений, УО – ударный объем, ОПСС – общее периферическое сосудистое сопротивление, ТР – общая мощность спектра, рNN50 – доля NN-интервалов, отличающихся на 50 мс и более



Данная формула составлена на основании наиболее информативных параметров окислительного метаболизма, которые отражают интенсивность свободнорадикальных процессов (концентрация МДА и максимальная интенсивность вспышки биохемилюмисценции) и состояние антиоксидантной системы (активность супероксиддисмутазы и общую активность данной системы). Кроме того, нами были учтены показатели системной гемодинамики, характеризующие насосную функцию сердца (УО и ЧСС) и тонус сосудов (ОПСС), а также индикаторы тонуса вегетативной нервной системы на основании анализа вариабельности сердечного ритма (общая мощность спектра и параметр рNN50).

Материал, полученный при проведении исследований у всех изученных групп обрабатывали методом вариационной статистики [95] с использованием стандартных статистических программ. Результаты представлены в виде средней величины (М), стандартной ошибки среднего (m). Проверку на нормальность распределения выборки осуществляли с использованием критерия Колмогорова-Смирнова с поправкой Лиллиефорса. Количество кластеров определяли при помощи иерархической кластеризации с построением дендрограммы. Для устранения влияния различий параметров использовали уравнивание составов совокупностей с расчетом стандартизированных коэффициентов. Кластерный анализ для распределения студентов по группам при реакции организма студентов на комплекс ГТО и в постнагрузочном периоде осуществляли с помощью метода К-средних с Евклидовым расстоянием между центроидами и ближайшими точками. Статистические взаимосвязи между полученными параметрами выполняли с помощью корреляционного анализа. Для оценки достоверности использования показателей в уравнении расчета ФМП применяли множественную линейную регрессию. Отличия считали достоверными при значениях  $p < 0,05$  (по t-критерию Стьюдента). Математический анализ и статистическая обработка данных результатов проводили с использованием фрагментов пакета прикладных статистических программ Microsoft Excel 2016, Statistica 6.0.

### **ГЛАВА 3. КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТВЕТА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ СТУДЕНТОВ НА СТАНДАРТНУЮ ФИЗИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ**

Адаптация организма студентов с сохранением гомеостаза основных жизненно-важных систем, в том числе сердечно-сосудистой системы, требуют постоянной работы регуляторных механизмов. Хорошо организованная и сбалансированная регуляция – залог не только здоровья, но и благополучное продвижение при воздействии на организм различных раздражителей. Особенностью функционирования сердечной мышцы является автономная регуляция, но при различных дезадаптационных состояниях активизируются высшие уровни управления, при этом возрастает потребность в использовании информационных, энергетических и метаболических ресурсов организма, управление которыми осуществляется через нервные, эндокринные и гуморальные механизмы. К сердечно-сосудистой системе применяются повышенные требования как к ведущей системе жизнеобеспечения, что особенно важно при изучении влияния физических нагрузок разной интенсивности на организм обучающихся студентов. При этом может изменяться характер работы синусового узла, насосной функции сердца, а также степень variability ритма. Следовательно, тестирование с помощью представленного аппаратного комплекса позволяет провести комплексную диагностику организма для анализа гемодинамики и кардиоритма с целью определения уровня работы сердечно-сосудистой системы после выполнения физических упражнений.

Дальнейший вектор проведения исследования обусловило изучение адаптационной реакции сердечно-сосудистой системы студентов на предложенную анаэробную нагрузку разной интенсивности при условии физической работы на максимальной мощности. Установлено, что в процессе обучения в вузе, особенно актуально проведение мероприятий, направленных на диагностику, выявление нарушений и улучшение функционирования сердечно-сосудистой системы и адаптационных возможностей организма студентов.

Необходимо обратить особое внимание на физическое здоровье и организацию учебного процесса в период адаптации студентов к образовательным условиям вуза. Особую актуальность приобретают поиски механизмов повышения адаптивной устойчивости организма в русле оценки функциональной готовности студентов к выполнению нормативов комплекса ГТО. Следует отметить, что с 24 марта 2014 года издан Указ Президента Российской Федерации № 172 «О Всероссийском физкультурно-оздоровительном комплексе «Готов к труду и обороне» (ГТО), а с 11 июня 2014 года в Российской Федерации утверждено положение о Всероссийском физкультурно-спортивном комплексе «Готов к труду и обороне» [107, 136], а следующим этапом реализации данной программы Правительства стало внедрение комплекса ГТО во все ступени образования в Российской Федерации. В высших учебных заведениях данный комплекс используется как в виде сдачи нормативов, влияющих на успеваемость по физической культуре, так и в виде тестовых упражнений, для оценки физического и функционального состояния обучающихся. Вышеперечисленные факторы и обусловили выбор упражнений именно из комплекса ГТО, так как это позволяет оценить функциональное состояние и адаптационные резервы сердца при воздействии физической нагрузки.

У экспериментальной группы проводили тестирование гемодинамических показателей и variability сердечного ритма в состоянии физиологического покоя и после выполнения каждого из вышеперечисленных упражнений, чтобы оценить адаптационные возможности сердца и дезадаптационные отклонения регуляторных механизмов на предложенную физическую нагрузку. Исследование выполнялось с использованием системы спортивного тестирования «MedicalSoft».

### ***3.1. Исследование состояния системной гемодинамики студентов в условиях стандартной физической нагрузки***

Средние гемодинамические показатели экспериментальной группы студентов в состоянии физиологического покоя и после физической нагрузки представлены в таблице 3. При сравнении результатов, полученных в ходе

тестирования, удалось определить САД и ДАД (рис. 10А, рис. 10Б), которые составили у студентов в состоянии покоя  $124,3 \pm 13,7 / 75,7 \pm 6,2$  мм.рт.ст. После выполнения физической нагрузки наблюдались регуляторные сдвиги в значениях параметра САД, обусловленные адаптацией организма к физическим упражнениям. В значениях ДАД во время физических нагрузок отсутствуют статистически значимые различия ( $p > 0,05$ ). При прыжке в длину параметры увеличились относительно исходного уровня в покое на  $12,3 \%$  /  $3,8 \%$ . Во время выполнения скручиваний корпуса из положения лежа, значения индикаторов продолжают увеличиваться на  $15,3 \%$  /  $4,2 \%$ , после челночного бега – на  $17,5 \%$  /  $3,2 \%$ , при завершении выполнения бега на 100 метров – на  $20,6 \%$  /  $4,1 \%$ , а после подтягиваний – на  $19,5 \%$  /  $4,2 \%$ . После выполнении бега на 100 метров выявлен наиболее высокий показатель систолического АД среди студентов (в сравнении с покоем) что имело статистически достоверно значимое отличие ( $p < 0,05$  для САД). Анализируемые параметры в состоянии покоя в физиологическом нормативе наблюдались у 65 (92,9 %, по показателю САД) и 67 (95,7 % по показателю ДАД), тогда как при выполнении физических упражнений отмечена тенденция к дезадаптации у 17,1 / 10,0 % студентов при анализе выполнения прыжка в длину, у 24,3 / 10,0 % - скручиваниях корпуса из положения лежа, у 27,1 / 10,0 % - челночного бега, у 30,0 / 11,4 % - беге на 100 метров и у 34,3 / 12,9 % - подтягиваниях из виса на перекладине (таблица 3). Также у ряда обучающихся было отмечено повышение ДАД, что требует внимания к функциональному состоянию их сосудов. Такая реакция организма может являться следствием одного отдельного результата на физическую нагрузку, поэтому следует наблюдать за данным параметром в динамике. Следует отметить, что изменение ДАД имеет сопряжением со значением параметра ОПСС, что может означать наличие сдвигов жесткости и эластичности сосудистой стенки.

Нельзя не отметить параметр ЧСС, позволяющий оценить некоторые аспекты адаптации ССС испытуемых. В состоянии покоя данный параметр зафиксировался в значении  $73,2 \pm 12,4$  уд/мин (рис. 11А). Отмечена вариативная реакция данного индикатора на предложенную физическую нагрузку.

Таблица 3

Результаты гемодинамических показателей студентов в состоянии покоя и после физической нагрузки в виде выполнения физических упражнений различной направленности (упражнения комплекса ГТО) (n=70),  $M \pm m$

Параметр	Состояние покоя	Прыжок в длину	Скручивания корпуса	Челночный бег	Бег 100 м	Подтягивания на перекладине
САД, мм.рт.ст.	124,3±13,7	139,6±10,7*#	143,3±11,7*#	146,1±15,9*	149,9±9,5*	148,6±9,2*
ДАД, мм.рт.ст.	75,7±6,2	78,6±7,6	78,9±5,9	78,1±7,9	78,8±8,0	78,9±5,4
ЧСС, уд/мин	73,2±12,4	92,2±10,8*#	119,7±9,4*#	125,9±14,1*#	137,4±10,3*#	133,4±9,6*#
УО, мл	70,6±4,8	76,8±4,7*#	89,8±5,2*#	92,9±5,3*	106,4±5,1*#	101,2±5,8*#
СВ, л/мин	5,2±0,6	6,9±0,9*#	10,8±1,2*#	11,7±1,1*	14,6±1,3*#	13,5±1,1*
ОПСС, дин·с·см <sup>-5</sup>	1413,5±90,7	1143,8±81,3*#	741,8±89,8*#	687,5±78,6*#	560,2±99,7*#	603,5±92,2*#
pNN50, %	19,4±2,4	15,2±1,9*#	14,5±1,8*	11,8±1,9*#	10,3±1,1*#	11,2±1,9*
SDNN, мсек	49,8±15,3	43,7±11,1*#	38,5±8,3*#	42,9±12,9*#	32,6±11,6*#	33,8±11,6*
СИ, л/мин/м <sup>2</sup>	2,7±0,3	3,6±0,4*#	5,7±0,6*#	6,2±0,8*	7,7±0,9*#	7,1±0,8*
LVSW (ударная работа левого желудочка), мсек	63,9±5,5	79,3±5,1*#	92,1±5,5*#	95,1±5,5*	111,6±5,1*#	114,3±5,7*
LF/HF, усл.ед.	1,6±0,7	3,2±0,6*#	4,8±0,7*#	5,6±0,6*#	5,9±0,6*	6,2±0,6*#
TP, мс <sup>2</sup>	1679,5±159,5	1256,8±147,2*	1037,5±179,5**	979,4±128,7*	949,3±139,2*	920,6±158,7*
VLF, мс <sup>2</sup>	601,2±35,1	449,5±21,2*#	405,5±25,9*#	441,8±20,7*#	402,9±17,8*#	388,6±23,2*#
LF, мс <sup>2</sup>	559,5±24,7	419,9±26,3*#	439,3±20,8*	434,2±24,3*	441,2±26,8*	430,7±20,2*
HF, мс <sup>2</sup>	518,8±30,2	387,4±29,1*#	192,7±19,7*#	103,4±34,2*#	105,2±27,3*	101,3±29,8*
VLF, %	35,8±4,4	35,8±4,5	39,1±4,1*#	45,1±4,9*#	42,4±4,7*#	42,2±4,2****
LF, %	33,3±4,2	33,4±4,4	42,3±4,8*#	44,3±4,8*	46,5±4,3*	46,8±4,5*
HF, %	30,9±4,1	30,8±5,4	18,6±6,1*#	10,6±6,4*#	11,1±5,4*	11,0±4,9*
SI, усл. ед.	102,4±13,1	185,1±9,7*#	198,5±11,8*#	292,9±11,5*#	436,3±14,9*#	452,1±16,8*#

Примечание: \* -  $p < 0,05$  по отношению к значениям в состоянии покоя; «#» -  $p < 0,05$  по отношению к значениям предыдущего упражнения.

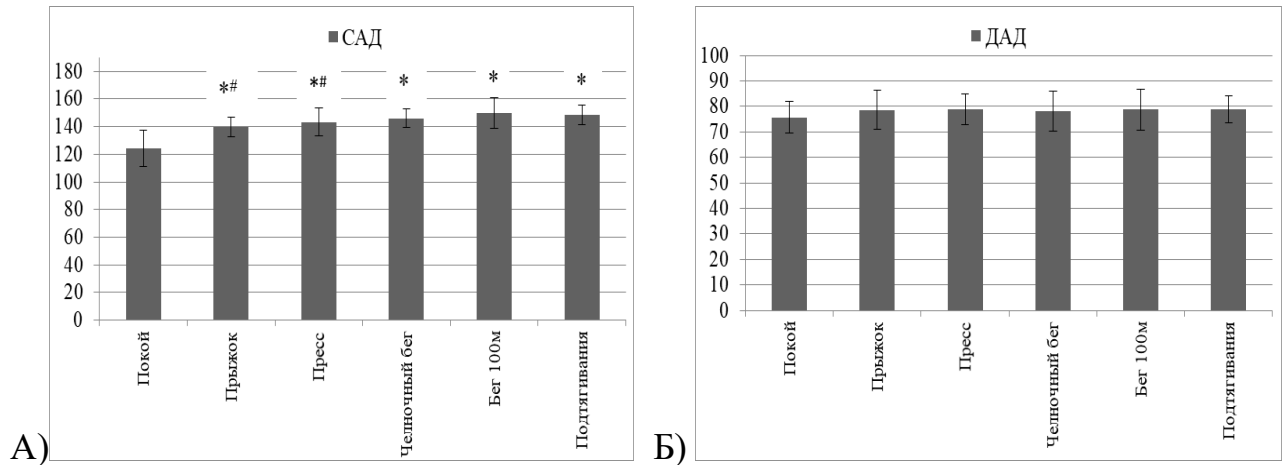


Рисунок 10 – Показатели систолического (А) и диастолического (Б) артериального давления у студентов в состоянии покоя и при воздействии физических нагрузок

После выполнения прыжка в длину, показатель ЧСС закономерно увеличивался относительно состояния покоя на 25,9 % после прыжка в длину, на 63,5 % после поднимания туловища, на 71,9 % после челночного бега, на 87,7 % после бега на 100 метров и на 82,2 после подтягиваний. Самое высокое значение ЧСС было зафиксировано после выполнения бега на 100 метров (в сравнении с физическим покоем и другими видами нагрузки), что имело статистически достоверно значимое отличие относительно его исходного уровня ( $p < 0,01$ ). Полученные показатели визуализировались в пределах физиологически допустимой нормы в состоянии покоя у 59 (84,3 %) студентов, у наблюдается выраженное их увеличение, что характеризуется неадекватным сдвигом в работе сердца при физических упражнениях и его перенапряжением. После выполнения упражнений, высокие колебания параметра наблюдались у 20 (28,6 %) студентов по окончании прыжка в длину, 21 (30,0 %) по окончании скручиваний корпуса из положения лежа, 23 (32,6 %) по окончании челночного бега, 26 (37,1 %) после бега на 100 метров и 27 (38,6 %) после подтягиваний из виса на перекладине. (таблица4).

Таблица 4

Распределение студентов в зависимости от адаптационной реакции ССС на предложенную физическую нагрузку в виде выполнения физических упражнений аэробной и анаэробной направленности (n=70)

Параметр	Физиологический покой				Прыжок в длину				Скручивания корпуса				Челночный бег				Бег 100 м				Подтягивания			
	норма		вне нормы		норма		вне нормы		норма		вне нормы		норма		вне нормы		норма		вне нормы		норма		вне нормы	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
<b>САД</b>	65	92,9	5	7,1	58	82,9	12	17,1	53	75,7	17	24,3	51	72,9	19	27,1	49	70,0	21	30,0	46	65,7	24	34,3
<b>ДАД</b>	67	95,7	3	4,3	63	90,0	7	10,0	63	90,0	7	10,0	63	90,0	7	10,0	62	88,6	8	11,4	61	87,1	9	12,9
<b>ЧСС</b>	59	84,3	11	15,7	50	71,4	20	28,6	49	70,0	21	30,0	47	67,4	23	32,6	44	62,9	26	37,1	43	61,4	27	38,6
<b>УО, мл</b>	59	84,3	11	15,7	58	82,9	12	17,1	55	78,6	15	21,4	52	74,3	18	25,7	52	74,3	18	25,7	51	72,9	19	27,1
<b>СВ, л</b>	64	91,4	6	8,6	63	90,0	7	10,0	62	88,6	8	11,4	62	88,6	8	11,4	61	87,1	9	12,9	61	87,1	9	12,9
<b>ОПСС</b>	60	85,7	10	14,3	58	82,9	12	17,1	54	77,1	16	22,9	52	74,3	18	25,7	51	72,9	19	27,1	48	68,6	22	31,4
<b>pNN50</b>	56	80,0	14	20,0	53	75,7	17	24,3	50	71,4	20	28,6	45	64,3	25	35,7	42	60,0	28	40,0	41	58,6	29	41,4
<b>SDNN</b>	58	82,9	12	17,1	55	78,6	15	21,4	52	74,3	18	25,7	47	67,1	23	32,9	44	62,9	26	37,1	42	60,0	28	40,0
<b>СИ</b>	66	94,3	4	5,7	63	90,0	7	10,0	62	88,6	8	11,4	62	88,6	8	11,4	61	87,1	9	12,9	61	87,1	9	12,9
<b>LVSW</b>	67	95,7	3	4,3	64	91,4	6	8,6	63	90,0	7	10,0	62	88,6	8	11,4	61	87,1	9	12,9	61	87,1	9	12,9
<b>LF/HF</b>	62	88,6	8	11,4	56	80,0	14	20,0	51	72,9	19	27,1	46	65,7	24	34,3	39	55,7	31	44,3	37	52,9	33	47,1
<b>TP</b>	65	92,9	5	7,1	51	72,9	19	27,1	48	68,6	22	31,4	47	67,4	23	32,6	43	61,4	27	38,6	41	58,6	29	41,4
<b>VLF</b>	66	94,3	4	5,7	64	91,4	6	8,6	61	87,1	9	12,9	57	81,4	13	18,6	55	78,6	15	21,4	51	72,9	19	27,1
<b>LF</b>	62	88,6	8	11,4	57	81,4	13	18,6	51	72,9	19	27,1	47	67,1	23	32,9	45	64,3	25	35,7	42	60,0	28	30,0
<b>HF</b>	62	88,6	8	11,4	55	78,6	15	21,4	46	65,7	24	34,3	41	58,6	29	41,4	39	55,7	31	44,3	37	52,9	33	47,1
<b>VLF, %</b>	66	94,3	4	5,7	64	91,4	6	8,6	61	87,1	9	12,9	57	81,4	13	18,6	55	78,6	15	21,4	51	72,9	19	27,1
<b>LF, %</b>	62	88,6	8	11,4	57	81,4	13	18,6	51	72,9	19	27,1	47	67,1	23	32,9	45	64,3	25	35,7	42	60,0	28	30,0
<b>HF, %</b>	62	88,6	8	11,4	55	78,6	15	21,4	46	65,7	24	34,3	41	58,6	29	41,4	39	55,7	31	44,3	37	52,9	33	47,1
<b>SI</b>	56	80,0	14	20,0	56	80,0	28	40,0	51	72,9	31	44,3	46	65,7	33	47,1	39	55,7	36	51,4	37	52,9	37	52,9

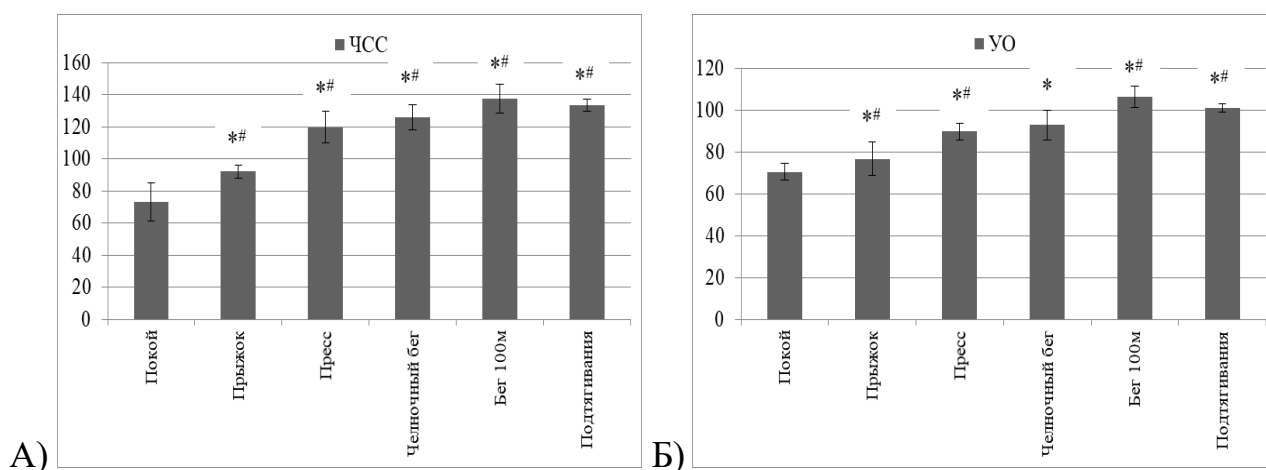


Рисунок 11 – Показатели частоты сердечных сокращений (А) и ударного объема (Б) у студентов в состоянии покоя и после физической нагрузки

Анализируя параметры, характеризующие насосную функцию сердца, следует обратить внимание на показатель УО, который у студентов в состоянии покоя находился на уровне  $70,6 \pm 4,8$  мл (рис. 11Б). Наблюдался рост ударного объема в зависимости от предложенной физической нагрузки, однако были отмечены студенты, у которых он быстро достигал своего максимума, при этом, это было сопряжено с выраженным увеличением ЧСС (к примеру, 75-80 мл значение УО при значении частоты сердечных сокращений 160-170 ударов в минуту), что является неудовлетворительным показателем адаптации к данным физическим упражнениям из-за недостаточной сократительной способности миокарда и уменьшение способности сердца к кровенаполнению в период диастолы. Таким образом, после выполнения прыжка в длину, наблюдалось увеличение УО на 8,8 %, после поднимания туловища – на 27,2 %, после челночного бега – на 30,6 %, после бега на 100 метров – на 50,7 %, после подтягиваний – на 43,3 %. При выполнении бега на 100 метров определен наиболее высокий показатель УО, что имело статистически значимое отличие относительно его исходного уровня ( $p < 0,01$ ). При этом, отмечены студенты, не готовые к данному виду физических нагрузок, что также может быть обусловлено маленьким размером сердца, не способным за счет ударного объема прокачивать необходимое количество крови по организму, тем самым



очень высоко увеличивается ЧСС. Возможна недостаточная эластичность сосудистого тонуса у данного контингента лиц. В состоянии значительного снижения адаптационных резервов после окончания прыжка в длину находилось 12 (17,1 %) испытуемых, скручиваний корпуса из положения лежа – 15 (21,4 %) испытуемых, челночного бега – 18 (25,7 %) испытуемых, бега на 100 метров – 18 (25,7 % испытуемых), подтягиваний из виса на перекладине – 19 (27,1 %) испытуемых (таблица 4).

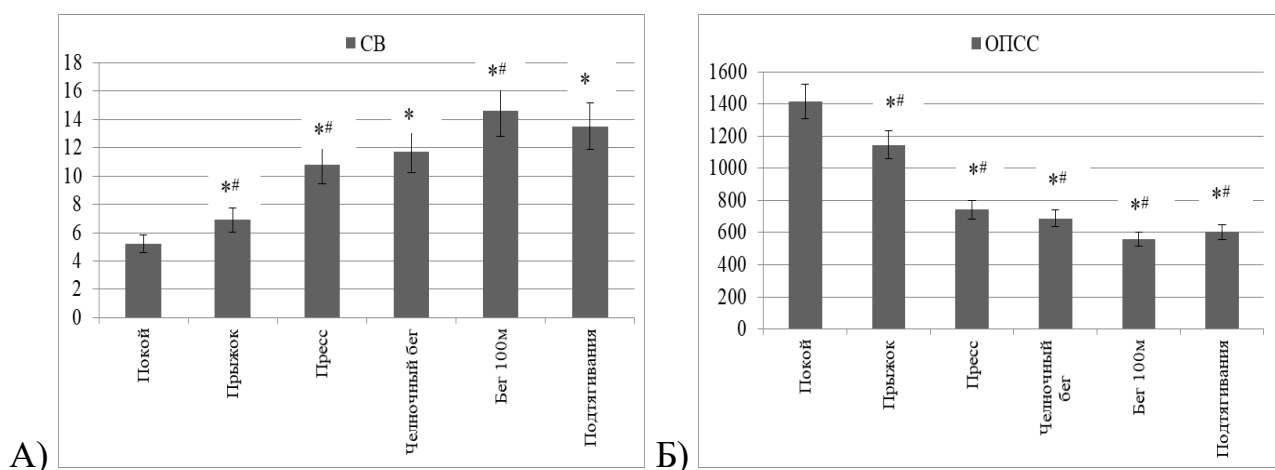


Рисунок 12 – Показатели сердечного выброса (А) и общего периферического сосудистого сопротивления (Б) у студентов в состоянии покоя и после физической нагрузки

Следующим исследуемым параметром явился показатель сердечного выброса, который в состоянии покоя определился на уровне  $5,2 \pm 0,6$  л/мин (рис. 12А). Установлено, что в норме в условиях физиологического покоя сердечный выброс, в зависимости от размеров тела человека, у мужчин варьируется в диапазоне от 4 л/мин до 6 л/мин. Его оценка позволяет получить информацию о состоянии ССС студентов в условиях различных состояний. Аналогично УО, показатели СВ показывают свое увеличение в зависимости от вида нагрузки. При изменениях упражнения установлена вариация СВ: после прыжка в длину увеличение 32,7 %, после скручиваний корпуса – на 107,7 %, после челночного бега – на 125%, после бега на 100 метров – на 180,8 %, после подтягиваний – на 159,6 %. Наиболее высокое его значение зафиксировано после выполнения бега

на 100 метров, что имело статистически достоверно значимое отличие относительно состояния покоя ( $p < 0,01$ ). При физической нагрузке данные индикаторы показали удовлетворительный уровень адапционных резервов только у 63 (90,0 %, прыжок в длину), 62 (88,6 %, скручивания корпуса из положения лежа), аналогичное количество после челночного бега, 61 (87,1 %, бег на 100 метров и также 61 (87,1 %) испытуемых после подтягиваний из виса на перекладине (таблица 4).

Таким образом, параметры насосной функции сердца, сопряженные с ЧСС, позволяют оценить степень выраженности изменений в работе ССС в состоянии физиологического покоя, а также степень адаптации при физических нагрузках.

Разная вариативность данных была получена при ОПСС. В состоянии покоя у студентов он наблюдался в пределах  $1413,5 \pm 90,7$   $\text{дин} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$  (рис. 12Б) при нормативном значении от 1200 до 1700  $\text{дин} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$  (по данным программно-аппаратного комплекса). Наличие определенных значений параметра позволяет определить наличие компенсации или декомпенсации при воздействии физических упражнений, что также позволяет определить уровень приспособительного характера организма у студентов.

Его анализ после выполнения упражнений позволяет трактовать адаптационную тенденцию сердечно-сосудистой системы, с учетом увеличения УО и СВ, для обеспечения гомеостаза влияния стресс-фактора в виде физических упражнений, что характеризует адаптивные перестройки ССС. При воздействии физических нагрузок предполагается снижение тонуса сосудов для поддержания нормального уровня АД, что отмечается в снижении ОПСС после прыжка в длину на 19,2 %, после поднимания туловища – на 47,6 %, после челночного бега – на 51,4 %, после бега на 100 метров – на 60,4 %, после подтягиваний – на 57,4 % относительно состояния покоя. Наиболее сильная изменчивость ОПСС определена при выполнении бега на 100 метров (в сравнении с покоем и другими видами нагрузки), что имело статистически значимое отличие ( $p < 0,05$ ). Были определены студенты, у которых

наблюдались неоптимальные вариации данного показателя, а значит можно предположить наличие у них неудовлетворительной эластичности кровеносных сосудов для транспорта крови к работающей мускулатуре. При анализе каждого упражнения, после прыжка в длину состояния спазма сосудов и выраженное увеличение САД было зафиксировано 12 (17,1 %) студентов, после скручиваний из положения лежа – 16 (22,9 %) человек, после челночного бега – 18 (25,7 %), после бега на 100 метров – 19 (27,1 %), после подтягиваний из виса на перекладине – 22 (31,4 %) исследуемых студентов (таблица 4).

Нельзя не отметить важность временных показателей ВСР, отражающих степень преобладания вагуса (рNN50), а также способность к адаптационному изменению сердечного ритма в условиях влияния различных раздражителей внешней среды, то есть скорость переключения вариабельности кардиоритма. У испытуемых в состоянии физиологического покоя данный индикатор находился на уровне  $19,4 \pm 2,4$  % (рис. 13А). Отмечается уменьшение вариативности ритма при разных физических нагрузках относительно состояния покоя. Таким образом, при физической нагрузке в виде прыжка в длину значение рNN50 составило  $15,2 \pm 1,9$  %, скручивания корпуса из положения лежа –  $14,5 \pm 1,8$  %, челночного бега –  $11,8 \pm 1,9$  %, бега на 100 метров –  $10,3 \pm 1,1$  %, подтягиваний из виса на перекладине –  $11,2 \pm 1,9$  %. При беге на 100 метров выявлено наименьшее значение показателя рNN50 относительно состояния покоя, что имело статистически достоверно значимое отличие ( $p < 0,05$ ), что сообщает об угнетении активности автономного контура регуляции. Следует отметить, что во время выполнения всех упражнений, были отмечены студенты с наличием минимального значения рNN50, характеризующего минимальную изменчивость времени кардиоцикла, и выраженного его увеличения, что может характеризоваться тенденцией к аритмии. Нестабильная вариативность кардиоритма при выполнении прыжка в длину наблюдалась у 17 (24,3 %) студентов, при выполнении скручиваний корпуса из положения лежа – у 20 (28,6 %) студентов, при выполнении челночного бега – у 25 (35,7 %) студентов, при выполнении бега на 100 метров

– у 28 (40,0 %) студентов, при выполнении подтягивания из виса на перекладине – у 29 (41,4 %) студентов (таблица 4).

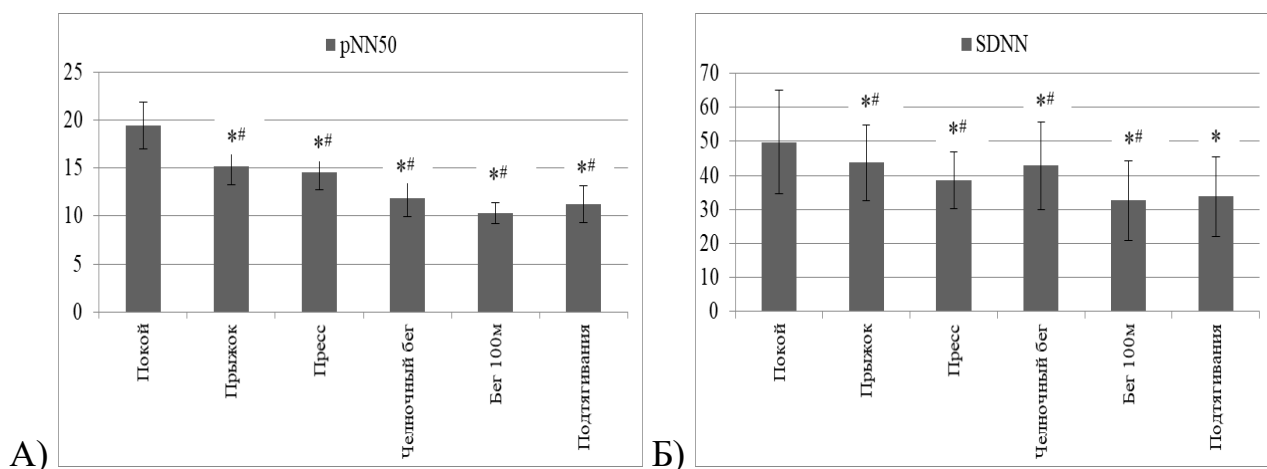


Рисунок 13 – Показатели pNN50 (А) и SDNN (Б) у студентов в состоянии покоя и после физической нагрузки

Показатель SDNN в состоянии покоя, определился на уровне  $49,8 \pm 15,3$  мсек (рис. 13Б). После прыжка в длину установлено его снижение на 12,2 %, после скручиваний корпуса – на 22,7 %, после челночного бега – на 13,9 %, после бега на 100 метров – на 34,5 %, после подтягиваний – на 32,1 %. При выполнении бега на 100 метров выявлен наименьший показатель SDNN, зафиксирована статистически достоверная относительно состояния покоя ( $p < 0,05$ ). При анализе отдельных видов физических упражнений, отмечена тенденция к дезадаптации по данному параметру у 15 (21,4 %) студентов после выполнения прыжка в длину, у 18 (25,7 %) после скручивания корпуса из положения лежа, у 23 (32,9 %) после челночного бега, у 26 (37,1 %) после бега на 100 метров, у 28 (40,0 %) после подтягивания из виса на перекладине (таблица 4) что может отражать изменение общего тонуса ВНС.

Показатель СИ у студентов в состоянии покоя находился на уровне  $2,7 \pm 0,3$  л/мин/м<sup>2</sup> (рис. 14А). При усилении нагрузки отмечалось линейное его увеличение: после прыжка в длину на 33,3 %, после поднимания туловища – на 111,1 %, после челночного бега – на 129,6 %, после бега на 100 метров – на 185,2 %, после подтягиваний – на 162,9 % относительно исходного уровня. В

том числе определились студенты наличием дезадаптационных сдвигов в данном показателе, что было сопряжено с высоким увеличением ЧСС у данного контингента лиц. К примеру, после проведения прыжка в длину испытуемых с наличием дезадаптации составило 15 (21,4 %), скручивания корпуса из положения лежа – 18 (25,7 %), челночного бега – 23 (32,9 %), бега на 100 метров – 26 (37,1 %), подтягивания из виса на перекладине – 28 (40,0 %) человек (таблица 4). Предполагается, что это может привести к недостаточному кровоснабжению работающих скелетных мышц.

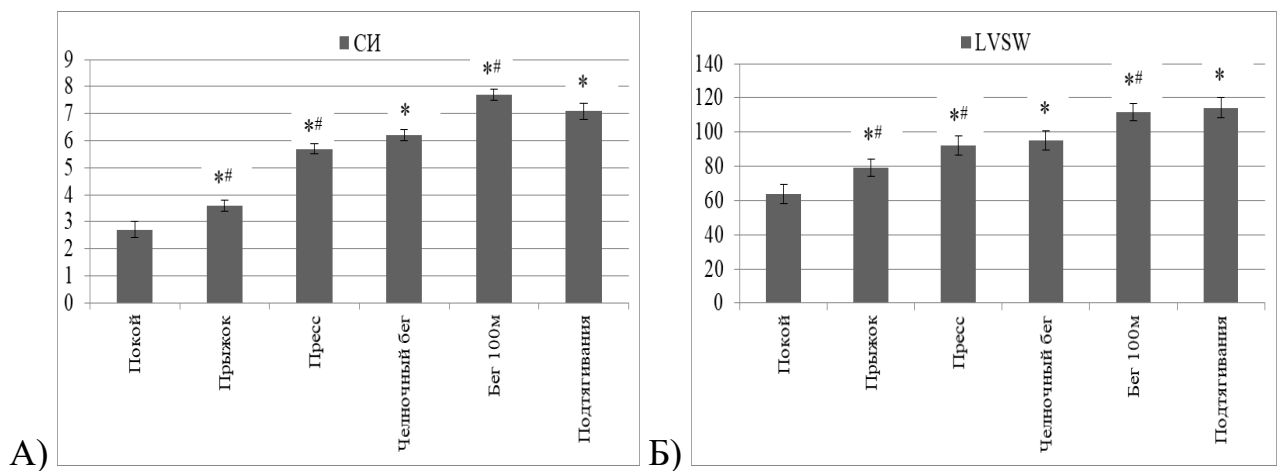


Рисунок 14 – Показатели сердечного индекса (А) и ударной работы левого желудочка (Б) у студентов в состоянии покоя и после физической нагрузки

Параметр, характеризующий ударную работу левого желудочка (LVSW) определился у студентов экспериментальной группы в значении  $63,9 \pm 5,5$  г-м/удар/м<sup>2</sup> (рис. 14Б).

При физической нагрузке (прыжок в длину) данный параметр у студентов находился на уровне  $79,3 \pm 5,1$  г-м/удар/м<sup>2</sup>, при подтягивании на перекладине –  $92,1 \pm 5,5$  г-м/удар/м<sup>2</sup>, при скручивании корпуса –  $95,1 \pm 5,5$  г-м/удар/м<sup>2</sup>, при беге на 100 метров –  $111,6 \pm 5,1$  г-м/удар/м<sup>2</sup>, при подтягивании из виса на перекладине –  $114,3 \pm 5,7$  г-м/удар/м<sup>2</sup>. Наибольшее значение данного параметра зафиксировано после выполнения подтягивания что имело статистически достоверно значимое отличие относительно состояния покоя ( $p < 0,05$ ). В процессе исследования были выявлены студенты с незначительным

изменением показателя, что может трактоваться в обеспечении потребности в доставке кислорода к мышцам за счет выраженного усиления ЧСС. При учете каждого проведенного упражнения, тенденция к дезадаптации определилась у 6 (8,6 %) студентов после прыжка в длину, у 7 (10,0 %) после скручиваний корпуса из положения лежа, у 8 (11,4 %) после челночного бега, у 9 (12,9 %) после бега на 100 метров и у 9 (12,9 %) студентов после подтягиваний из виса на перекладине (таблица 4).

Показатель LF/HF у студентов в состоянии покоя находился на уровне  $1,6 \pm 0,7$  усл.ед. (рис. 15А). После выполнения физических упражнений отмечено усиление симпатического вклада ВНС. После прыжка в длину параметр увеличился на 100 %, после скручивания корпуса из положения лежа – на 200 %, после челночного бега – 250 %, после бега на 100 метров – на 268,8 %, после подтягиваний – на 287,5 %. Увеличение выраженности симпатикотонии было отмечено после подтягиваний ( $p < 0,05$ ). Дезадаптационные сдвиги отмечены среди 14 (20,0 %) испытуемых после выполнения прыжка в длину, у 19 (27,1 %) после выполнения скручивания корпуса из положения лежа, у 24 (34,3 %) после выполнения челночного бега, у 31 (44,3 %) после выполнения бега на 100 метров, у 33 (47,1 %) испытуемых студентов после выполнения подтягивания из виса на перекладине (таблица 4).

Показатель спектрального анализа кардиоритма, отражающий суммарную мощность волн (TP) отразился у испытуемых студентов в состоянии покоя на уровне  $1679,5 \pm 159,5$  мс<sup>2</sup> (рис. 15Б). Снижение временных показателей ВСР (SDNN и pNN50) обусловило уменьшение TP после выполнения физических упражнений (на 25,2 % после прыжка в длину, на 38,2 % после скручиваний корпуса, на 41,7 % после челночного бега, на 43,5 % после бега на 100 метров и на 45,2 % после подтягиваний из виса на перекладине). При выполнении подтягиваний выявлен наиболее низкий показатель TP (в сравнении с физическим покоем), что имело статистически достоверную значимость ( $p < 0,05$ ). При выполнении отдельных видов физической нагрузки отмечено смещение TP в сторону дезадаптации (значительное его снижение) у 19 (27,1

%) после прыжка в длину, 22 (31,4 %) после скручиваний корпуса из положения лежа, у 23 (32,6 %) после челночного бега, у 27 (38,4 %) после бега на 100 метров, у 29 (41,4 %) после подтягиваний из виса на перекладине (таблица 4).

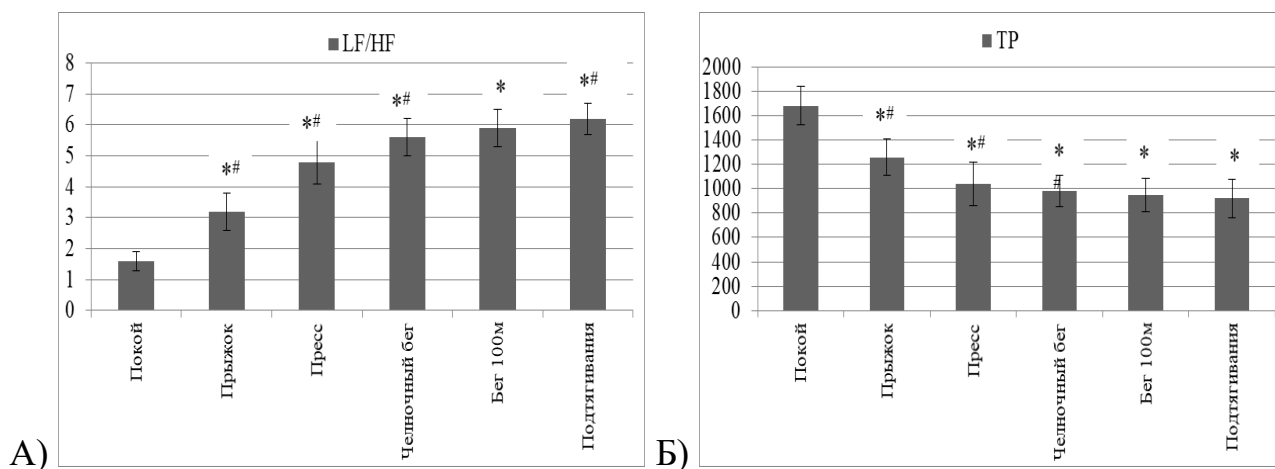


Рисунок 15 – Показатели индекса вегетативного равновесия (А) и общей мощности спектра (Б) у студентов в состоянии покоя и после физической нагрузки

В дальнейшем, изучали вклад спектральных компонентов регуляции кардиоритма. После проведения тестирования с помощью прибора, удалось визуализировать параметры мощностей спектра в области низких частот (LF), высоких частот (HF) и очень низких частот (VLF) как в абсолютных, так и в относительных значениях, а также динамику изменения данных параметров под влиянием комплекса физических упражнений. У испытуемых студентов в состоянии покоя LF бал зафиксирован на отметке  $559,5 \pm 24,7$  мс<sup>2</sup>/ $33,3 \pm 4,2$  %, HF –  $518,8 \pm 30,2$  мс<sup>2</sup>/ $30,9 \pm 4,1$  % и VLF – на уровне  $601,2 \pm 35,1$  мс<sup>2</sup>/ $35,8 \pm 4,4$  %, что характеризует достаточно оптимальное соотношение полученных данных (рис. 16А, рис. 16Б, рис. 16В, рис. 17А, рис. 17Б, рис. 17В), а также подтверждается ранее полученным параметром LF/HF, отражающим баланс между симпатической и парасимпатической ВНС. Во время физической нагрузки наблюдалась вариация изменений вышеуказанных параметров, с преобладанием LF компонента, характеризующим усиление симпатической стимуляции миокарда во время нагрузок, что сопровождается снижением

значения HF и возрастанием VLF компонентов. Это отражает активизацию симпатoadрeнaлoвoй системы и мобилизацию функционального состояния организма в условиях воздействия стресс-фактора. С учетом полученных данных, следует отметить незначительные колебания VLF, что в целом характеризует сохранение автономного контура регуляции сердечного ритма, однако, после выполнения челночного бега и последующих упражнений, наблюдается тенденция к усилению с помощью высших центров регуляции.

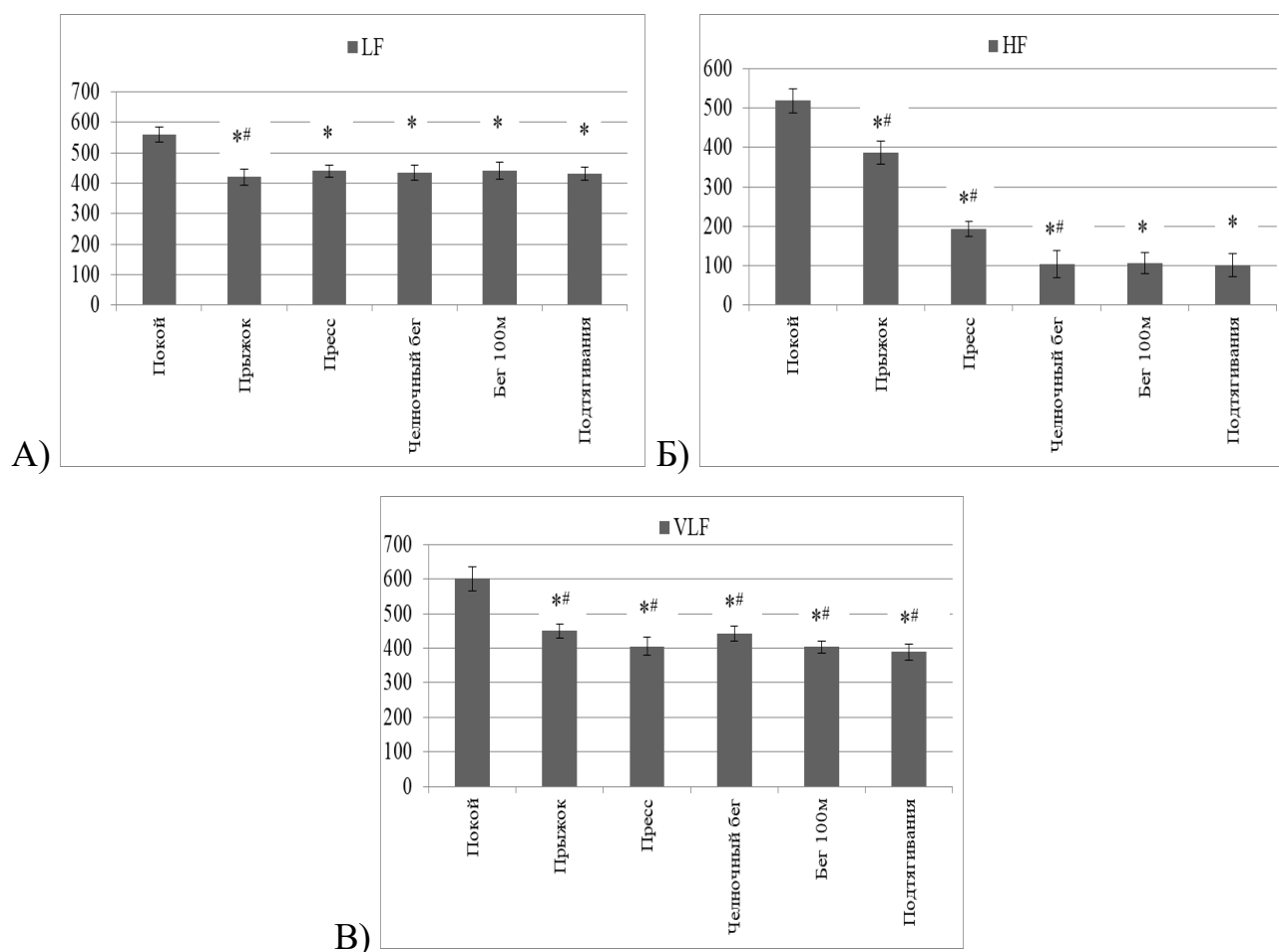


Рисунок 16 – Абсолютные значения мощностей спектра в области низких (А), высоких (Б) и очень низких (В) частот у студентов в состоянии покоя и после физической нагрузки

Таким образом, после выполнения прыжка в длину значение LF составило  $419,9 \pm 26,3 \text{ мс}^2 / 33,4 \pm 4,4 \%$ ; HF –  $387,4 \pm 29,1 \text{ мс}^2 / 30,8 \pm 5,4 \%$ ; VLF –  $449,5 \pm 21,2 \text{ мс}^2 / 35,8 \pm 4,5 \%$ . После скручиваний корпуса из положения лежа значение LF составило  $439,3 \pm 20,8 \text{ мс}^2 / 42,3 \pm 4,8 \%$ ; HF –  $192,7 \pm 19,7 \text{ мс}^2 / 18,6 \pm 6,1$



%; VLF –  $405,5 \pm 25,9$  мс<sup>2</sup>/ $39,1 \pm 4,1$  %. После челночного бега LF составило  $434,2 \pm 24,3$  мс<sup>2</sup>/ $44,3 \pm 4,8$  %; HF –  $103,4 \pm 34,2$  мс<sup>2</sup>/ $10,6 \pm 6,4$  %; VLF –  $441,8 \pm 20,7$  мс<sup>2</sup>/ $45,1 \pm 4,9$  %. После бега на 100 метров значение LF составило  $441,2 \pm 26,8$  мс<sup>2</sup>/ $46,5 \pm 4,3$  %; HF –  $105,2 \pm 27,3$  мс<sup>2</sup>/ $11,1 \pm 5,4$  %; VLF –  $402,9 \pm 17,8$  мс<sup>2</sup>/ $42,4 \pm 4,7$  %. После подтягиваний из виса на перекладине LF составило  $430,7 \pm 20,2$  мс<sup>2</sup>/ $46,8 \pm 4,5$  %; HF –  $101,3 \pm 29,8$  мс<sup>2</sup>/ $11,0 \pm 4,9$  %; VLF –  $388,6 \pm 23,2$  мс<sup>2</sup>/ $42,2 \pm 4,2$  % соответственно.

Следует отметить, что во время исследования определились студенты с наличием отклоняющихся показателей спектрального анализа (минимальные значения VLF и HF компонентов), отражающих существенную мобилизацию регуляторных систем и увеличение вазомоторных волн спектра ВСР. При анализе отдельно взятых физических упражнений распространенность сдвигов после выполнения прыжка в длину в параметре LF составила 13 (18,6 %) студентов, HF – 15 (21,4 %) студентов, VLF – 6 (8,6 %) студентов; после выполнения скручивания корпуса из положения лежа сдвиги в параметре LF наблюдались у 19 (27,1 %) студентов, HF – 24 (34,3 %) студентов, VLF – 9 (12,9 %) студентов; после выполнения челночного бега сдвиги в параметре LF наблюдались у 23 (32,9 %) студентов, HF – 29 (41,4 %) студентов, VLF – 13 (18,6 %) студентов; после выполнения бега на 100 метров сдвиги в параметре LF наблюдались у 25 (35,7 %) студентов, HF – 31 (44,3 %), VLF – 15 (21,4 %) студентов; после выполнения подтягиваний из виса на перекладине сдвиги в параметре LF наблюдались у 28 (30,0 %) студентов, HF – 33 (47,1 %) студентов, VLF – 19 (27,1 %) студентов (таблица 4).

Это отразилось и в значении индекса стресса, который определился в состоянии покоя верхней границе физиологической нормы в значении  $102,4 \pm 2,1$  усл. ед. у испытуемых студентов. После воздействия физической нагрузки данный параметр продолжил смещаться в сторону увеличения (на 80,8 % после прыжка в длину, на 93,9 % после поднимания туловища, на 186 % после челночного бега, на 392,1 % после бега на 100 метров и на 341,5 % после подтягиваний. После выполнения бега на 100 метров и подтягиваний отмечены

значения этого показателя, близкого к донозологическому состоянию. В тоже время установлено его увеличение выше 500 усл. ед. у некоторых студентов, что подтверждается данными показателей насосной функции сердца, временных и спектральных параметров ВСР.

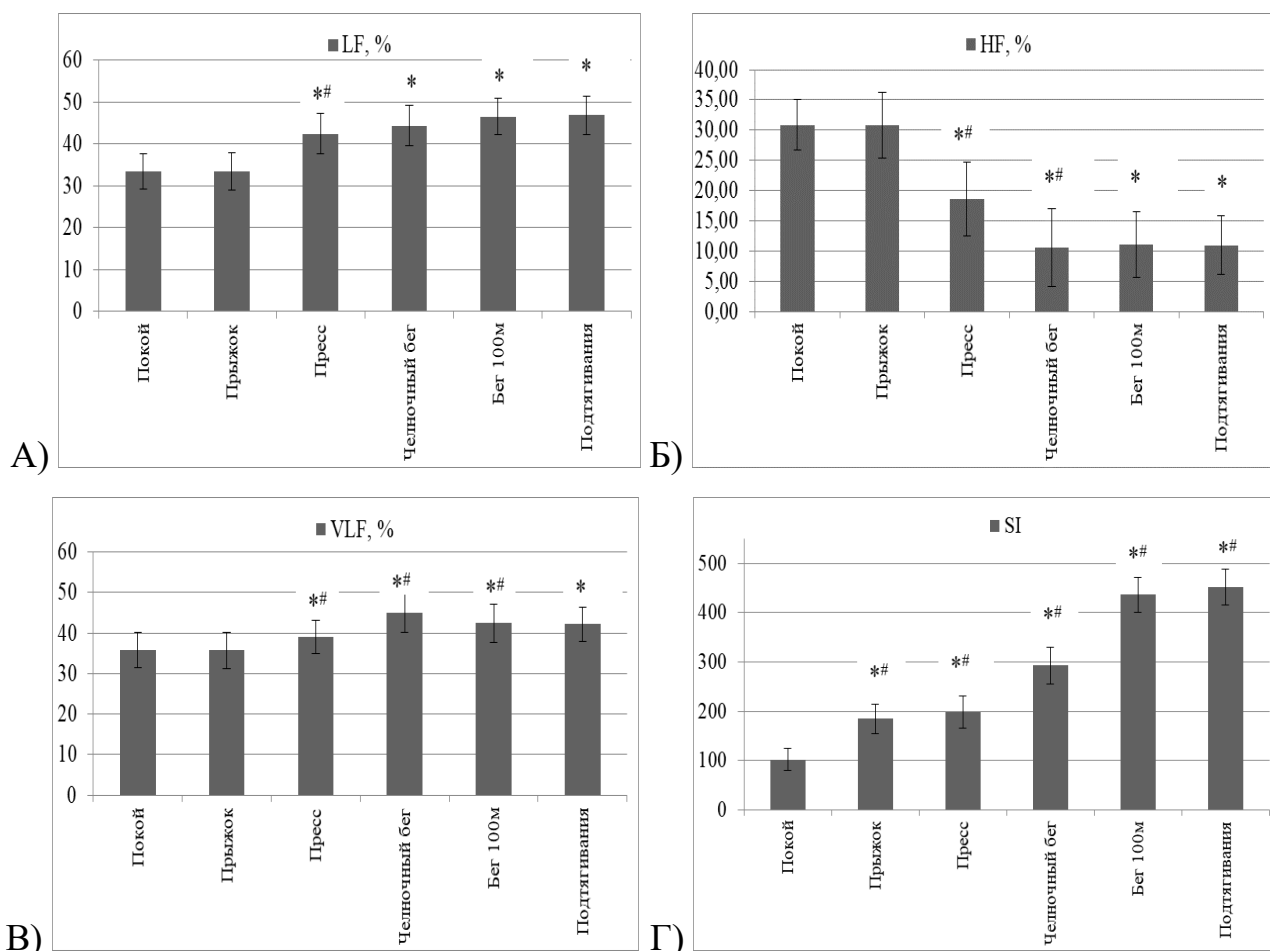


Рисунок 17 – Относительные значения мощностей спектра в области низких (А), высоких (Б), очень низких (В) частот и параметр стресс-индекса (Г) у студентов в состоянии покоя и после физической нагрузки

При анализе отдельных упражнений распространенность сдвигов при выполнении прыжка в длину наблюдалась у 28 (40,0 %) студентов, после скручиваний корпуса из положения лежа – у 31 (44,3 %) студентов, после челночного бега – у 33 (47,1 %) студентов, после бега на 100 метров – у 36 (51,4 %) студентов, после подтягиваний из виса на перекладине – у 37 (52,9 %) студентов (таблица 4).

Таким образом, воздействие нагрузочного теста в виде упражнений комплекса ГТО разной направленности показало разнонаправленную реакцию ССС студентов. Следует отметить наличие значительного напряжения регуляторных систем у ряда исследуемых лиц, что характеризует усиление напряжения функций сердечной мышцы, вазомоторного центра, нейронов центральной нервной системы в ходе реакции организма на предложенную физическую активность. Тем не менее, реакция кардиоваскулярной системы у значительной доли студентов экспериментальной группы может считаться удовлетворительной к предложенным нагрузкам, что сообщает об адекватном уровне резервов адаптации среди них.

### ***3.2. Состояние окислительного метаболизма студентов в условиях стандартной физической нагрузки***

Состояние окислительного стресса является следствием усиления синтеза и внутриклеточного содержания активных форм кислорода из-за перемещения электронов к кислороду в аппарате окислительного фосфорилирования. Он становится возможен при физических нагрузках различной интенсивности, психоэмоциональном напряжении, переутомлении, что в свою очередь характеризуется снижением физической работоспособности и показателей физкультурно-спортивной результативности вследствие ослабления антиоксидантного статуса организма. Интенсивность свободнорадикальных процессов связана с особенностями физической деятельности, мощностью нагрузки и степенью адаптации. Таким образом, чрезмерная активация перекисных процессов является повреждающим фактором, в некоторых случаях достаточно опасным для организма человека.

Регулирование уровня АФК осуществляется сложной многокомпонентной саморегулирующейся системой. Многочисленные исследования показывают, что при мышечной работе, к которой человек не подготовлен физически, продолжающейся в условиях неравномерного снабжения организма кислородом, снижением его потребления митохондриями

скелетных мышц, приводит к мобилизации регуляторных систем, сопровождающихся генерацией свободнорадикальных процессов.

Учитывая вышеизложенное, важной задачей послужило изучение адаптационных возможностей организма на основании оценки скорости протекания свободнорадикального окисления и работы АОС, в дополнение к исследованию показателей системной гемодинамики и ВСР при стандартной физической нагрузке. Для этого у экспериментальной группы студентов осуществлялся забор крови из локтевой вены по 2 мл утром натощак и после выполнения упражнений, которые вызвали наиболее существенное напряжение регуляторных систем – бега на 100 метров и подтягиваний из виса на перекладине. Основные результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты исследования окислительного метаболизма в состоянии покоя и после физической нагрузки в виде выполнения физических упражнений различной направленности (n=70),  $M \pm m$

Параметр	Состояние покоя	Бег 100м	Подтягивания на перекладине	P<0,05
$I_{\max}$	1,23±0,2	1,74±0,3*	1,86±0,3	1-2; 2-3; 1-3
1/S	0,056±0,005	0,038±0,004	0,039±0,007	1-2; 1-3
МДА <sub>эр</sub> , нмоль/мл	6,41±0,6	7,52±0,8	7,61±0,5	1-2; 1-3
МДА <sub>пл</sub> , нмоль/мл	1,5±0,2	1,9±0,1	2,0±0,1	1-2; 1-3
СОД, ед. ак./г НВ	129,4±3,6	116,2±3,9	111,2±3,7	1-2; 1-3
Каталаза, ед.ак./г НВ	61,1±3,6	54,4±3,9	53,7±2,8	1-2; 1-3
ФМП, усл. ед.	1,8±0,2	2,6±0,4	2,7±0,3	1-2; 1-3

Примечание: P – достоверность отличий между состоянием покоя, бегом на 100м и подтягиваниями из виса на перекладине.

При анализе Fe-индуцированной хемилюминесценции по показателю максимальной интенсивности свечения было установлено ее увеличение на 29,3 % после бега на 100 метров, а после подтягиваний – на 33,9 % относительно состояния покоя у испытуемой группы (рис. 18А). Это сообщает об усилении темпов генерации активных форм кислорода в зависимости от мощности и интенсивности физической нагрузки. Кроме того, значение показателя, обратного к площади под кривой хемилюминесценции у студентов экспериментальной группы отражает угнетение активности антиоксидантной системы после воздействия упражнений комплекса ГТО (рис 18Б).

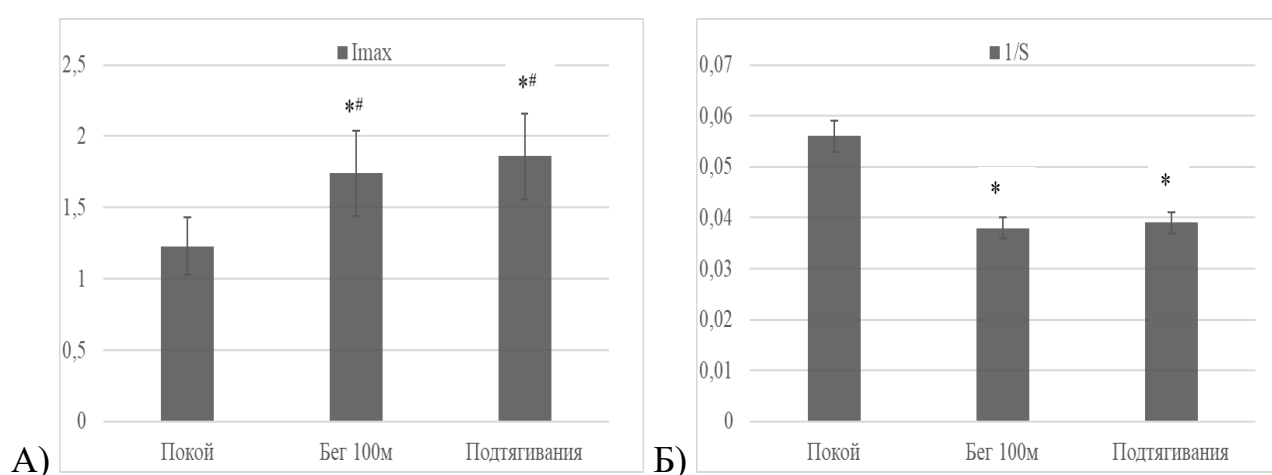


Рисунок 18 – Уровень показателей максимальной интенсивности свечения (А) и обратного параметра к светосумме (Б) у студентов в состоянии покоя и после физической нагрузки

После выполнения бега на 100 метров он уменьшился на 32,1 % относительно состояния физиологического покоя и составил 0,038 усл. ед., а после подтягиваний – на 30,4 % (0,039 усл. ед.;  $p < 0,05$ ). Это может сообщать о напряжении регуляторных механизмов в процессе ответа на физическую нагрузку и интенсификацию липопероксидации.

Затем изучали динамику уровня МДА в плазме крови (рис. 19А) и эритроцитах (рис. 19Б), что позволило установить динамику его изменения в ответ на различные физические нагрузки. Его максимальное значение наблюдалось после подтягиваний из виса на перекладине  $-2,1 \pm 0,1$  нмоль/мл в

плазме крови и  $7,61 \pm 0,5$  нмоль/мл - в эритроцитах, увеличившись на 28,6 % и 15,8% по сравнению с состоянием покоя соответственно ( $p < 0,05$  для обоих упражнений). После выполнения бега на 100 метров он был зафиксирован на уровне  $1,9 \pm 0,1$  нмоль/мл в плазме и  $7,52 \pm 0,6$  нмоль/мл - в эритроцитах ( $p < 0,05$ , увеличение на 21,1 % и 14,8 %).

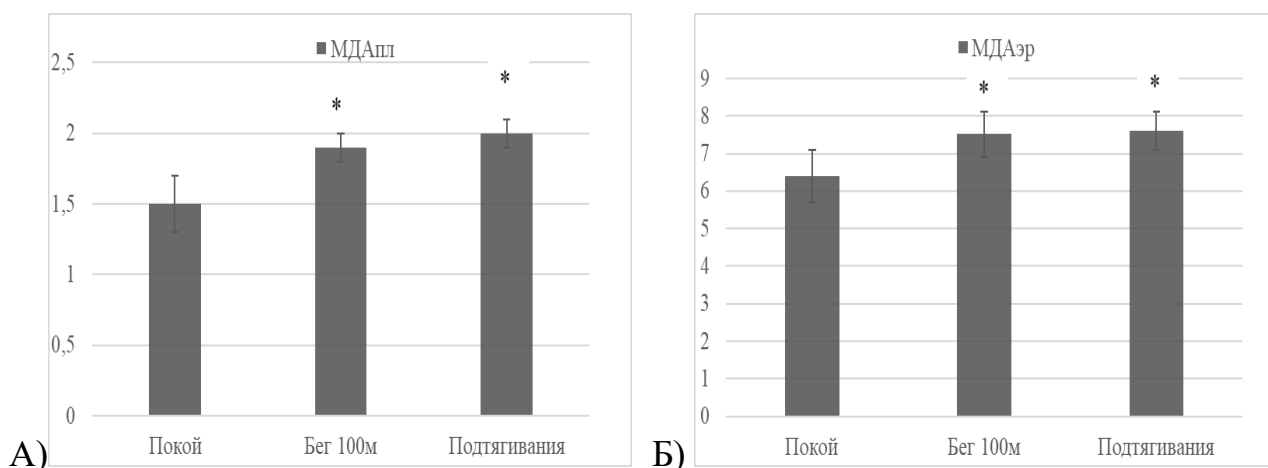


Рисунок 19 – Уровень концентрации малонового диальдегида в плазме крови (А) и эритроцитах (Б) у студентов в состоянии покоя и после физической нагрузки

В дальнейшем рассматривались изменения активности ферментов антиоксидантной защиты организма – супероксиддисмутазы и каталазы (рис. 20А, рис. 20Б). Следует отметить, что им отводится ключевая роль в купировании гиперсинтеза биорадикалов и поддержания защиты биологических мембран от повреждения активными формами кислорода. Это особенно важно в процессе изучения изометрических и краткосрочных сокращений, в течение которых потребление кислорода скелетными мышцами значительно увеличивается, что ведет к усилению генерации АФК, однако риск повреждения мышечной ткани может оставаться относительно низким. При этом образовавшиеся АФК являются факторами значительного напряжения регуляторных механизмов и развития дезадаптации.

Установлено снижение активности СОД после воздействия физических нагрузок: зафиксировано уменьшение на 25,7 % после бега на 100 метров и на

29,5 % после подтягиваний относительно состояния покоя. Активность каталазы, метаболизирующей пероксид водорода до воды и кислорода, также уменьшалась после выполнения вышеуказанных упражнений. При завершении бега на 100 метров наблюдалось снижение каталитических свойств фермента на 20,8 %, а после окончания подтягиваний – на 23,6 %, что указывает на относительный дисбаланс ПОЛ-АОС.

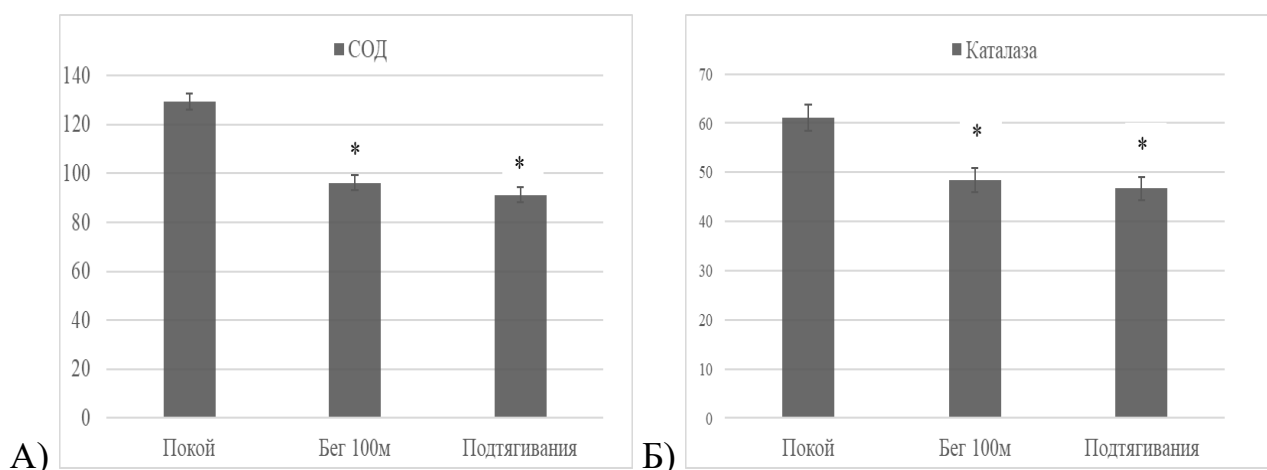


Рисунок 20 – Уровень показателей супероксиддисмутазы (А) и каталазы (Б) у студентов в состоянии покоя и после физической нагрузки

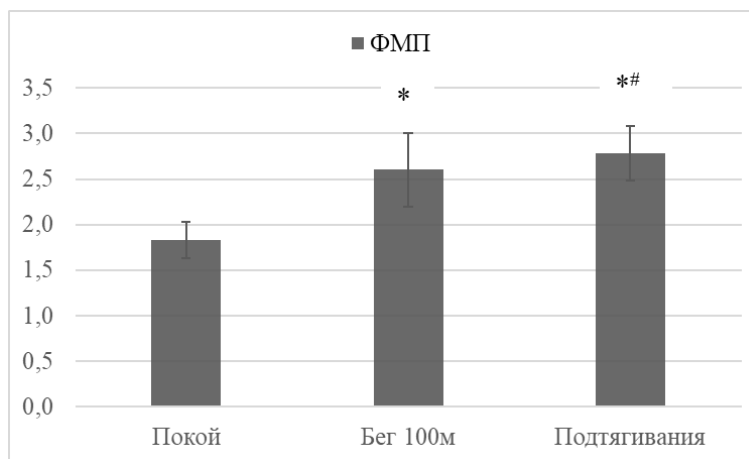


Рисунок 21 – Функционально-метаболический параметр у студентов в состоянии покоя и после физической нагрузки

Расчетный функционально-метаболический параметр, который может рассматриваться в качестве интегрального показателя для тестирования адаптивных возможности организма, статистически значимо увеличивается при воздействии физических упражнений нагрузочного комплекса (рис. 21). В

отличии от состояния покоя, где ФМП определен в значении  $1,8 \pm 0,1$  усл. ед., физические упражнения бег на 100 метров и подтягивания из виса способствуют его увеличению на 62,5 % и 68,8 % ( $p < 0,05$  относительно исходного уровня). Сдвиги этого параметра сообщают о напряжении регуляторных механизмов в условиях воздействия стресс-фактора.

Таким образом, оцениваемые параметры, характеризующие состояние окислительного метаболизма, совместно с изменениями системной гемодинамики и ВСР, указывают на разбалансировку гомеостатического равновесия организма при воздействии бега на 100 метров и подтягиваний из виса на перекладине. Таким образом, целесообразно использовать эти физические нагрузки в качестве тестовых для оценки адаптационного потенциала системной гемодинамики и метаболизма.

### ***3.3. Анализ уровня восстановительных процессов системной гемодинамики студентов после физической нагрузки***

Результаты работы об изменении гемодинамических параметров, ВСР, интегральных оценок организма при воздействии физической нагрузки комплекса ГТО, показавшие различные изменения состояния механизмов регуляции на уровне функций сердца и отраженные в разделе 4.1, показали разнонаправленные изменения функционирования организма после выполнения нагрузочного тестирования. Следовательно, оценка функционального состояния позволяет судить о характере адаптационных реакций, однако, следует учитывать и особенности функционального состояния ССС в течение постнагрузочного периода, что позволяет получить представление об особенностях восстановительных процессов студентов.

Результаты исследования и сравнения гемодинамических индексов и ВСР студентов, полученных в состоянии физиологического покоя и в течение периода восстановления после нагрузочного теста, представлены в таблице 6. Каждый студент после выполненных упражнений комплекса ГТО получал десятиминутный отдых, после которого он повторно тестировался на системе



спортивного тестирования «MedicalSoft». Проведенное исследование позволяет осуществить сравнение доли студентов с отклоняющимися показателями гемодинамики и ВСР в состоянии физиологического покоя, а также в течение восстановительного периода после окончания физических нагрузок. При анализе показателей САД и ДАД (таблица 6) дезадаптивные сдвиги состояния покоя наблюдались только у 7,1 %/4,3 % исследуемых студентов, а после восстановительного периода – у 25,7 %/8,6 % испытуемых, что отражается в сохранении высокого значения показателей после 10 минут отдыха.

Таблица 6

Распределение студентов в состоянии физиологического покоя и по окончании периода восстановления после физической нагрузки в зависимости от адаптационной реакции ССС на физическую нагрузку (n=70)

Параметр	Физиологический покой				Восстановление после нагрузки			
	норма		вне нормы		норма		вне нормы	
	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%
САД	65	92,9	5	7,1	52	74,3	18	25,7
ДАД	67	95,7	3	4,3	64	91,4	6	8,6
ЧСС	59	84,3	11	15,7	47	67,1	23	32,9
УО	59	84,3	11	15,7	47	67,1	23	32,9
СВ	64	91,4	6	8,6	62	88,6	8	11,4
ОПСС	60	85,7	10	14,3	53	75,7	17	24,3
pNN50	56	80,0	14	20,0	47	67,1	23	32,9
SDNN	58	82,9	12	17,1	48	68,6	22	31,4
СИ	66	94,3	4	5,7	62	88,6	8	11,4
LVSW	67	95,7	3	4,3	63	90,0	7	10,0
LF/HF	62	88,6	8	11,4	47	67,1	23	32,9
TP	65	92,9	5	7,1	47	67,1	23	32,9
VLF	66	94,3	4	5,7	58	82,9	12	17,1
LF	62	88,6	8	11,4	49	70,0	21	30,0
HF	62	88,6	8	11,4	47	67,1	23	32,9
VLF, %	66	94,3	4	5,7	58	82,9	12	17,1
LF, %	62	88,6	8	11,4	49	70,0	21	30,0
HF, %	62	88,6	8	11,4	47	67,1	23	32,9
SI	56	80,0	14	20,0	37	52,9	33	47,1

ЧСС явилось следующим исследуемым параметром хронотропного состояния сердца (таблица 6). Наблюдалась доля студентов (15,7 %) в

состоянии покоя с наличием тенденции к умеренной тахикардии, вследствие слишком высокого увеличения ЧСС. После выполнения восстановительных мероприятий доля отклоняющихся студентов по данному индикатору увеличился и составил 32,9 % испытуемых. Коррелируемым параметром с ЧСС явился показатель УО (таблица 6). Очевидно, что доля отклоняющихся студентов по показателю УО после завершения физической нагрузки прямо пропорционально увеличивается с ростом доли отклоняющихся студентов по параметру ЧСС и составляет 32,9 % (в состоянии физиологического покоя количество студентов с дезадаптационными сдвигами в параметре УО составило 15,7 %).

Еще одним параметром, характеризующим насосную функцию сердца, явился СВ, характеризующий количество крови, прокачиваемое сердцем за минуту. Количество студентов с наличием данного показателя вне физиологического диапазона также отличается в разных периодах функционирования организма (таблица 6). Так, в состоянии физиологического покоя тенденция к дезадаптивным реакциям по данному показателю наблюдалась у 8,6 %, а по происшествии восстановления от нагрузочного теста – у 11,4 %, что может говорить о дизрегуляторном характере различных взаимодействия на уровне ССС.

Следующим показателем, который позволяет оценивать жесткость сосудистой стенки, а, следовательно, их пропускную способность, стал параметр общего периферического сосудистого сопротивления (таблица 6). Было установлено увеличение доли студентов с тенденцией к спазму сосудов, что приводит к увеличению САД в восстановительном периоде, который может характеризоваться недостаточным уровнем жесткости капилляров, недостаточной доставкой кислорода и питательных веществ к работающим органам и тканям. Таким образом, доля студентов со сдвигами в данном показателе в состоянии физиологического покоя составила 14,3 %, а после восстановительного периода – 24,3 %. Наличие сдвигов в насосной функции сердца также было зафиксировано в параметре СИ, который отражает

количество крови, выбрасываемое на площадь поверхности тела (таблица 6). В состоянии покоя дезадаптационные сдвиги наблюдались у 5,7 % студентов, а после окончания физических нагрузок – у 11,4 %.

Следующим исследуемым параметром стал показатель рNN50 (табл. 6). Доля студентов низким значением этого показателя, отражающего неспособность перестройки кардиоритма к действию стресс-фактора, и слишком высокого значения показателя, характеризующего тенденцию к аритмии, увеличивается после окончания выполнения физических упражнений. Это показывает неспособность к удовлетворительной адаптации кардиоритма у данного контингента лиц. В состоянии физиологического покоя отклонения параметра зафиксировано у 20,0 %, а по окончании периода восстановления – у 32,9 %. Индекс вегетативного равновесия после восстановления испытуемых наблюдался в регуляторных сдвигах у 34,3 %, в сравнении с состоянием покоя – 11,4 % (таблица 6). Это сообщает о выраженной симпатикотонии в период восстановления и напряжение регуляторных систем.

Нельзя не отметить исследования спектрального анализа сердечного ритма индикатора, отражающего мощность спектра в области очень низких частот. Смещение этого параметра за пределы физиологического диапазона может сообщать о включении надсегментарных структур в управлении кардиоритмом, о неспособности ВНС к автономной регуляции (таблица 6). Установлено, что в состоянии физиологического покоя распространенность сдвигов в уровне VLF наблюдалось у 5,7 %, а после восстановительного периода – у 17,1 % испытуемых. Это дополнительно подтверждает тенденцию к сдвигам адаптационных реакций вследствие ранее изученных параметров рNN50 и LF/HF. Дополнительно на особенности вышеуказанных сдвигов указывает и значение SI (таблица 6). Таким образом, с 20,0 % отклоняющихся по данному параметру студентов в состоянии физиологического покоя, доля студентов увеличилась до 47,1 % в постнагрузочном периоде, что может привести к развитию преморбидного состояния.

В дальнейшем, был выбран метод кластерного анализа, имеющий широкое применение в анализе массивов многомерных данных. В качестве мониторинга использовались показатели системной гемодинамики (УО, СВ, ОПСС), а также параметры ВСР (ЧСС, SDNN, pNN50, LF (%), HF (%), VLF (%), TP и LF/HF). Осуществлялась стандартизация значений вышеуказанных индикаторов, для близкого их расположения вокруг нуля. При прогнозировании количества кластеров использовался метод иерархической кластеризации с построением дендрограммы (рис. 22, рис. 23). В результате его проведения предположено разделение участников эксперимента на 3 кластера (рис.23А, рис. 23Б). В ходе выполнения кластерного анализа методом К-средних установлено, что в первый кластер вошли 28 студентов (40 %), во второй – 17 студентов (24,3 %), в третий – 25 студентов (35,7 %).

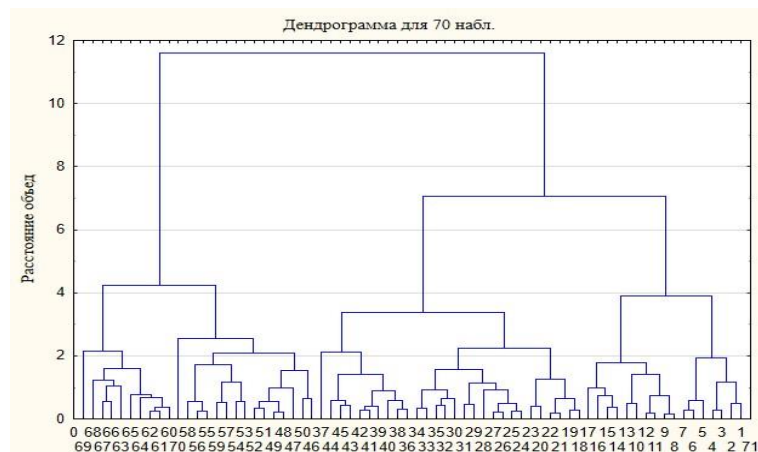


Рисунок 22 – Дендрограмма кластерного анализа методом иерархической кластеризации при реакции организма на физическую нагрузку

Среди представителей 1 кластера наблюдается умеренная симпатикотония и централизация регуляции сердечного ритма, угнетение активности автономного контура, сопровождающееся физиологически увеличением УО и ЧСС и снижением ОПСС для поддержания оптимального уровня АД. Это сопровождается активацией вазомоторного центра в процессе экстренной мобилизации организма с умеренным напряжением регуляторных систем. У 2 кластера отмечается рост ЧСС, разнонаправленные колебания УО,

сохранение централизации сердечного ритма по показателям ВСР. У студентов 3 кластера отмечается выраженное преобладание симпатикотонии, резкое увеличение центрального контура регуляции. Это проявляется в значительном снижении статистических показателей ВСР, преобладании вазомоторных волн и резком уменьшении общей мощности спектра, а также высоким значением ЧСС, вазоконстрикцией сосудов по показателю ОПСС и резкий рост АД (таблица 7).

Таблица 7

Количество испытуемых и значения показателей гемодинамики и вариабельности сердечного ритма в кластерах во время реакции организма на физические нагрузки (n=70), M±m

Параметр/Кластер	1 кластер (n=28)	2 кластер (n=17)	3 кластер (n=25)	P<0,05
LF (%)	-0,31±0,19	-1,08±0,28	1,07±0,46	1-2; 2-3; 1-3
HF (%)	-0,14±0,34	1,56±0,39	-0,91±0,19	1-2; 2-3; 1-3
VLF (%)	-0,23±0,39	-1,24±0,43	1,1±0,31	1-2; 1-3
SDNN	0,09±0,34	1,38±0,56	-1,03±0,28	1-2; 2-3; 1-3
pNN50	0,26±0,19	1,26±0,42	-1,15±0,31	1-2; 2-3; 1-3
TP	0,18±0,36	1,32±0,16	-1,09±0,43	1-2; 2-3; 1-3
LF/HF	-0,71±0,48	-0,51±0,36	1,15±0,51	2-3; 1-3
УО	0,09±0,22	1,36±0,44	-1,02±0,52	1-2; 2-3; 1-3
ОПСС	-0,18±0,24	-1,31±0,29	1,09±0,42	1-2; 2-3; 1-3
ЧСС	-0,43±0,15	-1,08±0,24	1,21±0,37	1-2; 2-3; 1-3

Примечание: P – достоверность отличий между группами 1,2,3.

Графическое представление кластерного в ходе нагрузочного теста представлено на графике средних и диаграмме рассеяния (рис. 23). Таким образом, выявленные сдвиги указывают на снижение функциональных резервов систем регуляции и, потенциально, на состояние вегетативной дисфункции. Выделенные группы показывают разнонаправленные изменения адаптационных резервов и могут характеризовать реакцию организма при

воздействии нагрузочного комплекса, где адаптивный ответ у значительной доли обучающихся свидетельствует о наличии у них достаточно высокого резерва адаптации. Однако у ряда студентов наблюдается выраженное утомление и перенапряжения организма.

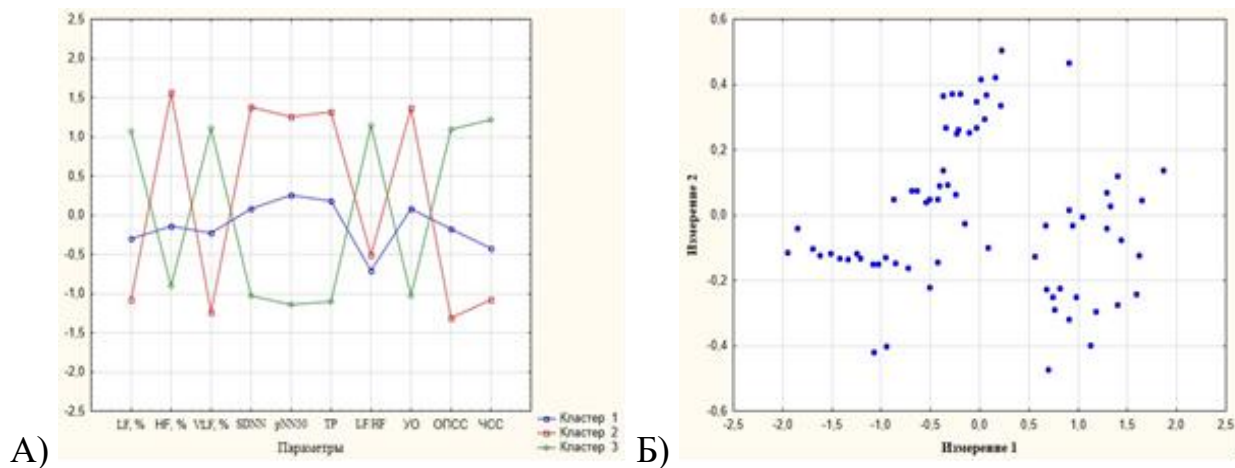


Рисунок 23 – График средних показателей гемодинамики и вариабельности сердечного ритма во время реакции организма на физические нагрузки (А) и диаграмма рассеяния (Б) кластерного анализа для них

Затем осуществлялся кластерный анализ индикаторов гемодинамики и ВСР участников эксперимента в восстановительном периоде. В результате зафиксировано 3 кластера (таблица 8), что позволило предположить разнонаправленные изменения регуляторных механизмов организма испытуемых в течение восстановительного периода. Из 70 испытуемых, в первый кластер вошли 36 (51,4 %) человек, во второй – 11 (15,7 %) студентов, а в третий – 23 (32,9 %) обучающихся. При оценке показателей системной гемодинамики, восстановление ЧСС до исходного уровня отмечалось только у представителей первого кластера, среди студентов второго кластера восстановление ЧСС состояния покоя зафиксировано только среди 7 человек, а у остальных испытуемых этот показатель наблюдался на верхней границе физиологического норматива. У представителей третьего кластера отсутствовало восстановление ЧСС до исходного уровня, которое сохранялось в значении до 130 уд/мин, что сопровождалось у них неодинаковыми

изменениями ударного объема сердца. Это также проявлялось в увеличении ОПСС, характеризовавшего усиление спазма гладкомышечных волокон сосудистой стенки и скачки артериального давления. У представителей первого кластера ОПСС наблюдался в физиологическом диапазоне, среди студентов второго кластера этот индикатор отмечался на верхней границе норматива практически у половины испытуемых.

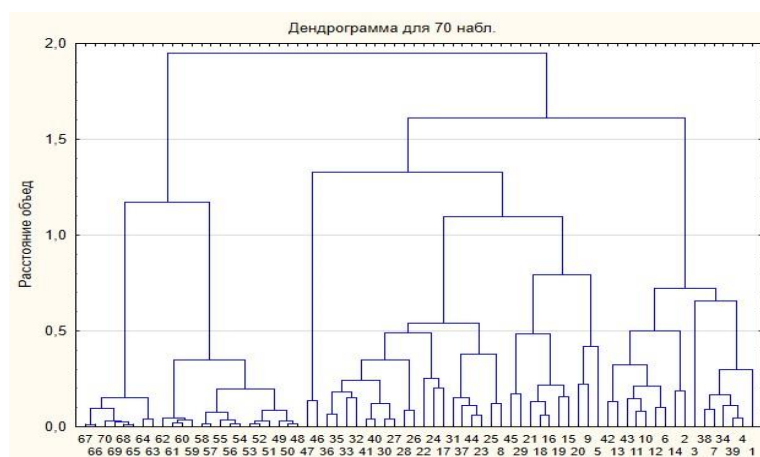


Рисунок 24 – Дендрограмма кластерного анализа методом иерархической кластеризации в постнагрузочном периоде

Кроме этого, при оценке статистических показателей ВСР (SDNN, рNN50), у представителей третьего кластера наблюдалось статистически значимые по отношению к представителям остальных кластерам отличия, что проявлялось в резком уменьшении значений этих параметров, и характеризовало наличие выраженной централизации ритма сердца и угнетение автономного контура регуляции. Эти параметры сохранялись на уровне 20 мс и 15 % соответственно. Среди 45,2 % представителей второго кластера отмечается наличия напряжения регуляторных механизмов, у остальных обучающихся показатели отмечаются в пределах норматива. При этом среди студентов третьего кластера сохраняются изменения мощности спектра в области низких и очень низких частот (до 14 % по последнему параметру), что характеризует сохранение преобладание высших уровней регуляции кардиоритма. Одновременно у них наблюдается изменение высокочастотного

компонента спектрального анализа, что сообщает о подавлении активности парасимпатического отдела ВНС и неудовлетворительном состоянии восстановления после физической нагрузки. Также у обучающихся третьего кластера установлено значительное смещение уровня общей мощности спектра до 400 мс<sup>2</sup> и соотношения низкочастотного и высокочастотного мощностей спектра до 3,8 усл. ед., что позволяет констатировать факт нестабильности сердечного ритма, преобладания активности симпатических влияний на сердечную деятельность и косвенно указывает на несовершенство нейрогуморальной регуляции.

Таблица 8

Количество испытуемых и значения показателей гемодинамики и variability сердечного ритма в кластерах в течение постнагрузочного периода (n=70), М±m

Параметр/Кластер	1 кластер (n=36)	2 кластер (n=11)	3 кластер (n=23)	P<0,05
LF (%)	0,67±0,62	0,15±0,73*	-1,12±0,47*	1-2; 1-3; 2-3
HF (%)	-0,43±0,37	0,11±0,78*	0,62±1,4*	1-2; 1-3; 2-3
VLF (%)	0,37±0,53	0,33±0,35*	-0,74±1,33*	2-3; 1-3
SDNN	0,46±0,48	0,96±0,66*	-1,19±0,54*	1-2; 1-3; 2-3
pNN50	0,59±0,4	0,65±0,46*	-1,24±0,64*	2-3; 1-3
TP	0,15±0,34	1,71±0,65*	-1,05±0,34*	1-2; 1-3; 2-3
LF/HF	-0,56±0,39	-0,66±0,98*	1,19±0,49*	2-3; 1-3
УО	0,65±0,41	0,47±0,65*	-1,24±0,53*	1-2; 1-3; 2-3
ОПСС	-0,57±0,33	-0,49±0,25*	1,12±0,1*	1-2; 1-3; 2-3
ЧСС	-0,57±0,26	-0,6±0,29*	1,18±0,91*	2-3; 1-3

Примечание: P – достоверность отличий между группами 1, 2, 3.

У студентов первого кластера значения вышеуказанных показателей отмечаются в пределах исходных значений во время периода восстановления, у представителей второго кластера – с преобладанием центрального контура над автономным практически у половины представителей, а также неоднородными



изменениями ударного объема, частоты сердечных сокращений и общего периферического сосудистого сопротивления, что сопровождается поддержанием увеличенного уровня артериального давления. В тоже время определены Евклидовы расстояния между элементами кластеров, которые представлены в таблице 9.

Таблица 9

## Евклидовы расстояния между разными кластерами

Номер кластера	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3
Кластер 1	0,00	0,33	2,56
Кластер 2	0,58	0,00	3,01
Кластер 3	1,59	1,76	0,00

Таким образом, по результатам кластерного анализа определились 3 варианта изменений гемодинамики и вариации кардиоритма:

– среди студентов первого кластера отмечается быстрое восстановление ЧСС до уровня нормативных значений, что сопровождается стабилизацией ОПСС и нормальным значением артериального давления, а при исследовании ВСР наблюдается соразмерный вклад центрального и автономного уровней регуляции с наличием оптимальной вегетативной реактивности, и это можно рассматривать как оптимальный уровень адаптационных резервов;

– среди представителей второго кластера сохраняются неоднородные изменения изучаемых параметров практически у половины испытуемых, что обуславливается неоптимальным темпом восстановления физиологических функций организма в постнагрузочном периоде, и позволяет интерпретировать функциональные резервы их организма на границе адаптации/дезадаптации;

– среди обучающихся, отнесенных к третьему кластеру, наблюдается усиление централизации сердечного ритма с нарастанием его ригидности, уменьшение общей мощности спектра и сохранением преобладания симпатикотонических влияний, кроме этого, у них сохраняется высокие значения ЧСС и ОПСС, приводящих к усилению спазма сосудов и увеличению

артериального давления, следовательно, можно сделать вывод о затруднении процессов восстановления и снижении адапционных резервов среди этой группы. Графическое представление кластерного анализа представлено на графике средних для каждого кластера (рис. 25 А) и диаграмме рассеяния (рис. 25Б).

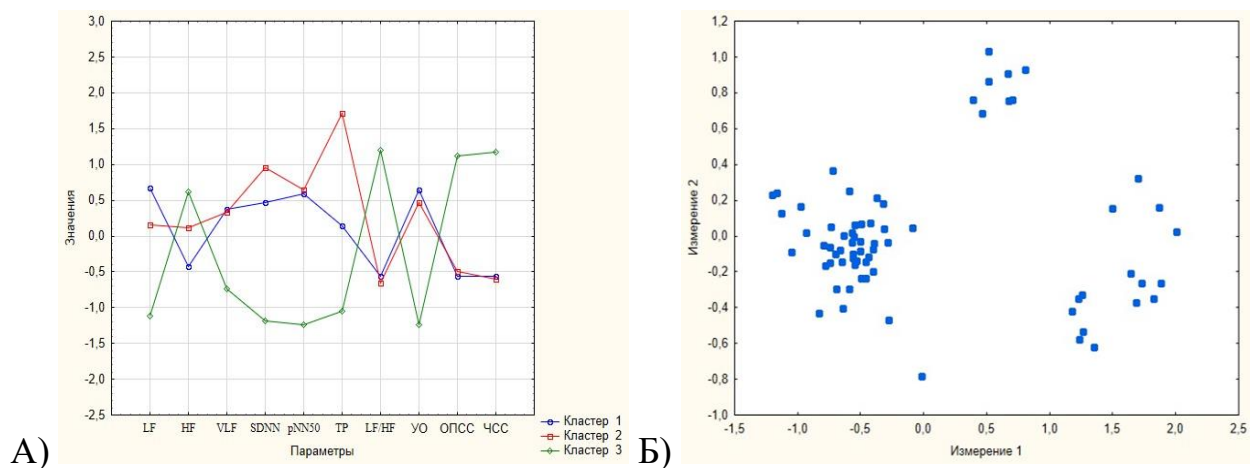


Рисунок 25 – График средних показателей гемодинамики и вариабельности сердечного ритма в течение постнагрузочного периода (А) и диаграмма рассеяния (Б) кластерного анализа для них

Следовательно, оценка распространенности дезадаптационных изменений гемодинамических индикаторов и параметров вариабельности сердечного ритма позволяет охарактеризовать изменения регуляторных механизмов организма в состоянии физиологического покоя и в процессе восстановительного периода по окончании воздействия физических упражнений. Показано, что доля студентов с отклоняющимися показателями увеличивается относительно состояния покоя, что отражает недостаточную способность к адаптационной перестройке сердечно-сосудистой системы у данного контингента лиц, а значит – недостаточный уровень тренированности, включение центральных механизмов регуляции кардиоритма, наличие аритмогенных событий, чрезмерную симпатическую стимуляцию миокарда, дезадаптивные изменения жесткости сосудистой стенки и другие тенденции к различным донологическим состояниям, которые требуют дополнительного

индивидуального наблюдения, и, при необходимости, коррекции физической активности.

### ***3.4. Гемодинамическая дифференциация студентов по реактивности на стандартную физическую нагрузку***

Исследованные параметры гемодинамики и ВСР раскрывают физиологические особенности адаптации к физическим нагрузкам, а также позволяют определять уровень дезадаптационных сдвигов среди студентов. Это определяет состояние вегетативной регуляции на поддержание необходимого уровня функционирования ССС у студентов, расширяют представления о характере адаптационных процессов, с учетом их индивидуальных особенностей.

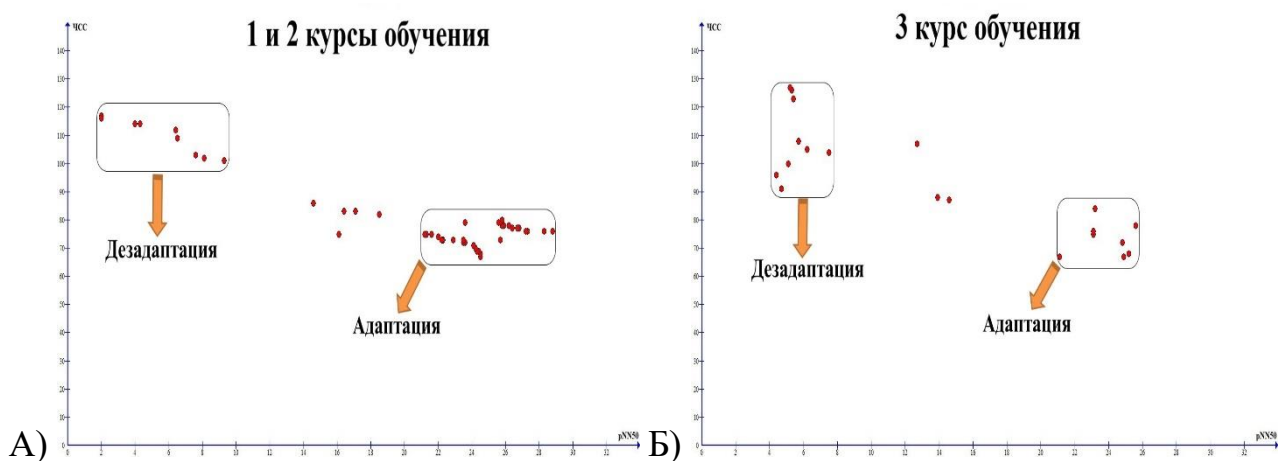


Рисунок 26 – Распределение испытуемых по показателям частоты сердечных сокращений-параметра pNN50 среди 1-2 курсов (А) и среди 3 курса (Б)

В дальнейшем применялась визуализация данных индикаторов, которые показывают количество испытуемых с удовлетворительным адаптационным резервом, а также установить некоторые особенности системной гемодинамики у студентов с наличием дезадаптационных сдвигов, применяя при этом анализ с помощью парных диаграмм параметров, полученных в течение периода восстановления, и имеющих разное физиологическое значение. С учетом результатов кластерного анализа, и предположением о снижении

функционального состояния организма у третьекурсников, диаграммы для комбинации показателей включали группу студентов 1 и 2 курсов, демонстрировавших статистически неразличимый уровень гемодинамических показателей и ВСР, и обучающихся 3 курса.

Вначале оценивались параметры ЧСС и рNN50 (рис. 26). Установлено, что среди 1 и 2 курсов 36 (51,4 %) студентов наблюдаются в диапазоне хорошей адаптации, где оба показателя наблюдаются в пределах норматива. 5 человек (7,1 %) находятся в зоне удовлетворительной адаптации, а 9 (12,9 %) студентов – в состоянии дезадаптации со снижением параметра рNN50 и ЧСС. Среди 3 курса у 8 человек (11,4 %) отмечается отличные резервы адаптации, у 3 человек (4,3 %) – норма рNN50 и увеличение ЧСС, а у 9 студентов (12,9 %) – значительное напряжение регуляторных систем в постнагрузочном периоде.

Затем анализировались пары УО-ОПСС (рис. 27). Среди обучающихся 1 и 2 курса 35 представителей (50 %) сохраняют оба показателя в пределах физиологического норматива, у 4 человек (5,7 %) ОПСС приближается к верхней границе норматива, а 11 человек (15,7 %) наблюдаются в зоне дезадаптации, у которых ОПСС находится выше верхней границы норматива на фоне незначительного изменения УО. По этим признакам дифференцировали студентов 3 курса: 9 человек (12,9 %) были в зоне адаптации, 3 человека (4,3 %) – на границе адаптации/дезадаптации, 8 человек (11,4 %) – в зоне дезадаптации. Адаптивное значение ОПСС на фоне умеренного роста УО, что дает основания характеризовать данную тенденцию как фактор, обусловленный перестройкой кардиогемодинамики у более подготовленных лиц.

Следующей парой исследуемых параметров явились показатели спектрального анализа кардиоритма – общая мощность спектра и индекс вегетативного равновесия (рис. 28). С учетом адаптационных перестроек организма к предложенной физической нагрузке, значения вышеуказанных показателей среди студентов 1 и 2 курсов наблюдались в физиологическом диапазоне у 33 человек (47,1 %), 8 студентов (11,4 %) находятся на границе адаптации, а 9 обучающихся (12,9 %) – в зоне дезадаптации с резким

снижением параметра TP и увеличением LF/HF, связанного с симпатическое стимуляцией миокарда. Среди группы студентов 3 курса высокие резервы адаптации наблюдались у 10 человек (14,3 %), снижение TP и значение LF/HF в пределах норматива – у 3 человек (4,3 %), а у 7 человек (10 %) – напряжение регуляторных систем, связанное с резким снижением параметра TP и увеличением LF/HF.

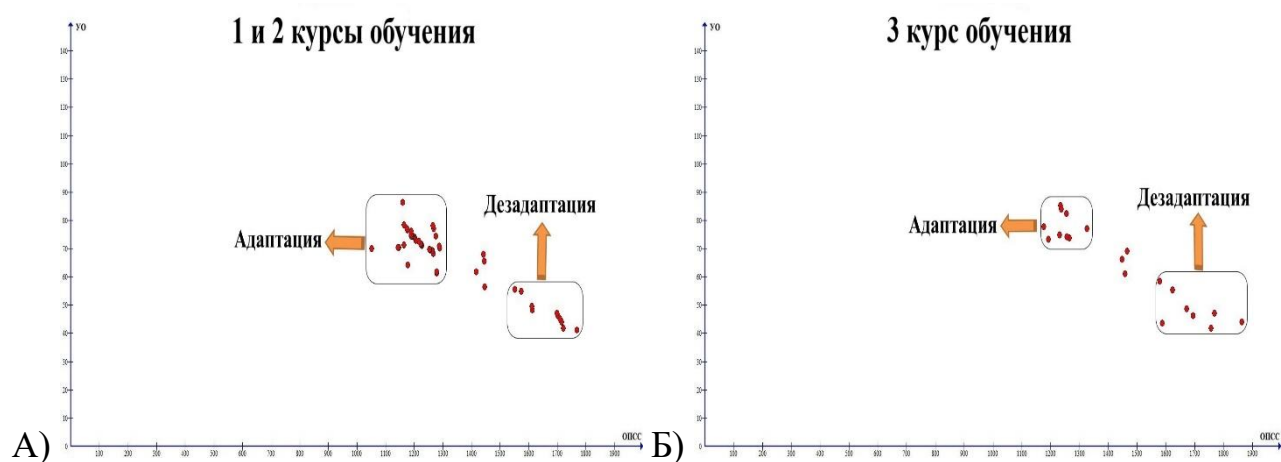


Рисунок 27 – Распределение испытуемых по показателям ударного объема-общего периферического сосудистого сопротивления среди 1 и 2 курсов (А) и 3 курса (Б)

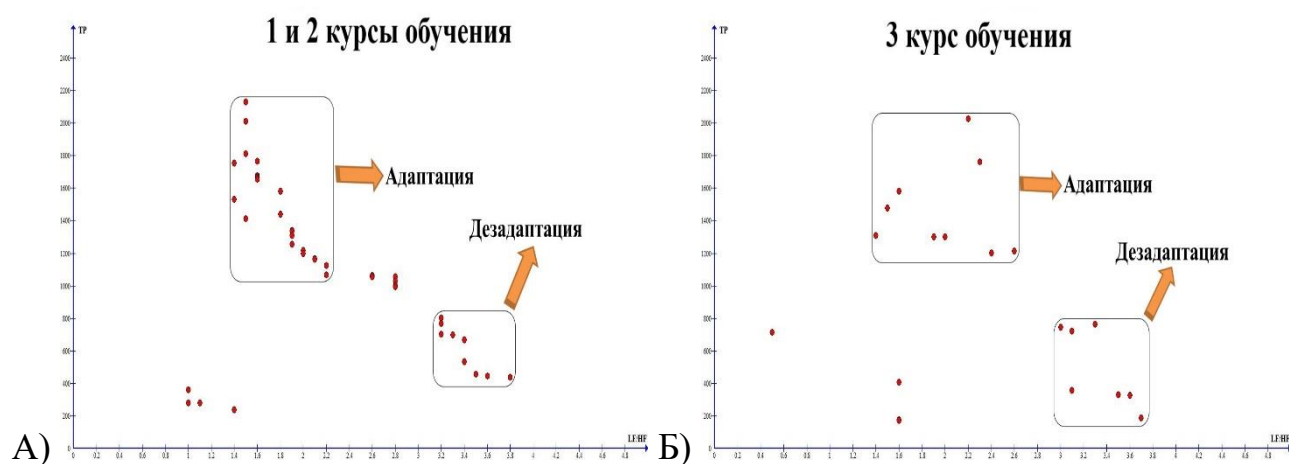


Рисунок 28 – Распределение испытуемых по показателям общей мощности спектра-индекса вегетативного равновесия среди 1 и 2 курсов (А) и 3 курса (Б)

Далее изучали пары временных и спектральных показателей ВСР – общая мощность спектра и параметр pNN50 (рис. 29). Характер изменений в виде значительного снижения обоих показателей зафиксирован у 10 человек (14,3 %)

1 и 2 курсов, и у 8 студентов (11,4 %) 3 курса. Это характеризует угнетение автономного контура регуляции кардиоритма и снижение адаптационных резервов организма. Среди 6 человек (8,6 %) 1 и 2 курсов и 2 студента (2,9 %) 3 курса наблюдается пограничное состояние, связанное с уменьшением значения  $pNN50$ . У 34 испытуемых (48,6 %) 1 и 2 курсов, а также у 8 обучающихся (11,4%) 3 курса демонстрируются высокие адаптационные резервы и нахождение вышеуказанных параметров в области норматива, что характеризует совокупное взаимодействие центрального и автономного звеньев регуляции ритма сердца.

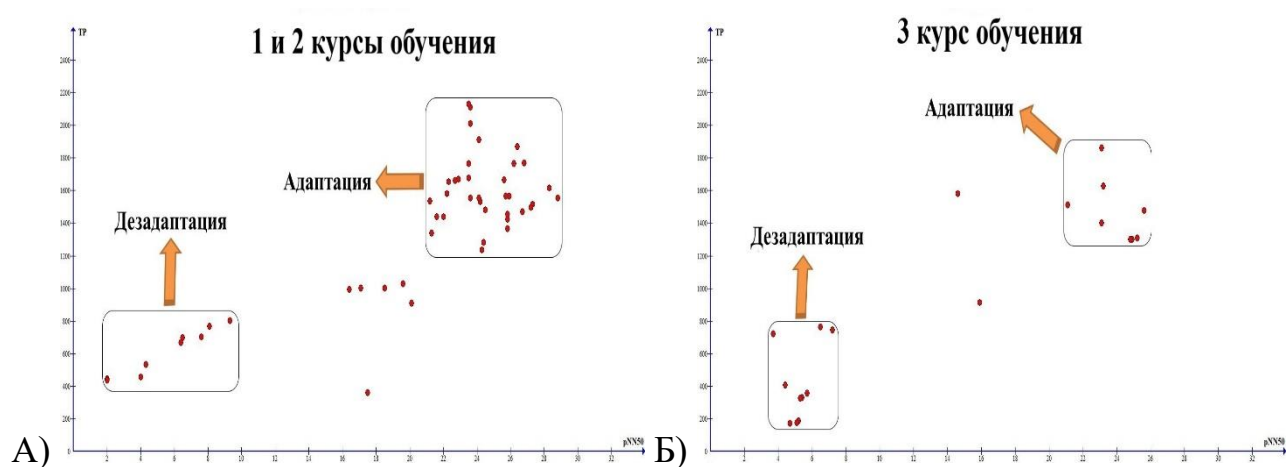


Рисунок 29 – Распределение испытуемых по показателям общей мощности спектра-параметра  $pNN50$  среди 1 и 2 курсов (А) и 3 курса (Б)

Из полученных данных видно, дезадаптационные сдвиги преобладают среди студентов 3 курса, где практически половина тестируемых студентов находилась в зоне дезадаптации, с напряжением функционирования сердечной мышцы, вазомоторного центра, нейронов центральной нервной системы в поддержании гомеостаза. Данные изменения гемодинамическо-вегетативных функций обосновывает необходимость массового скрининга студенческой молодежи с учетом их продолжительности обучения. Характер этих изменений позволяет дифференцировать тип гемодинамического и особенности систем регуляции на основании визуализации полученных данных, и обосновывает достаточную эффективность применения данных параметров в качестве

выявления их взаимосвязи. Таким образом, использование представленных пар показателей углубляет знания об адаптационных резервах при проведении профессионального отбора среди различных групп студентов.

### ***3.5. Корреляционно-регрессионный анализ функционально-метаболических параметров организма***

Различные изучаемые явления в разных научных областях находятся между собой во взаимосвязи и взаимной обусловленности, оказывая друг на друга определенные влияния [90]. Для того, чтобы дать объективную оценку полученным данным и оценить их межсистемные взаимосвязи, следует применять статистические методы, которые неизбежно сталкиваются с зависимостями, как между количественными, так и между качественными показателями или признаками [3]. При определении целей и задач исследования выделяются факторные, которые обуславливают изменения других признаков или переменных, и результативными, изменяющихся под влиянием факторных признаков [90].

В ситуациях, когда на результативный признак могут влиять несколько факторов, при этом между факторами существуют взаимосвязи, тогда следует рассматривать их в совокупности и использовать многофакторный корреляционно-регрессионный анализ, который позволяет оценить, каким образом каждый фактор влияет на результирующую переменную. При использовании корреляционного анализа становится возможным изучить направление и степень тесноты взаимосвязей между различными переменными. Результатом применения регрессионного анализа заключается определение итогового аналитического выражения связи между переменными, создание уравнения, позволяющего обосновать и связать переменные [90]. Это может применяться в случаях, когда создается формула для определения какой-либо интегральной оценки, значение которой может зависеть не от всех изученных признаков, то есть существует необходимость оставить в расчете параметра только некоторые из них, что обуславливает эффективность проведенного анализа.

Построение моделей корреляционно-регрессионного анализа осуществлялось с целью оценки взаимосвязей параметров системной гемодинамики, вариабельности сердечного ритма и окислительного метаболизма. На первом этапе статистической оценки создана корреляционная матрица, отражающая силу и направление связей между параметрами. Для расчета силы взаимосвязей между признаками использовался коэффициент корреляции Пирсона, который определялся по формуле:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

где  $x, y$  – значения исследуемых признаков,  $r$  – коэффициент корреляции

Критерий значимости ( $t$ ) для коэффициента корреляции рассчитывался по формуле:

$$t_r = \frac{r_{xy} \sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - r_{xy}^2}}$$

где  $r_{xy}$  – коэффициент корреляции между исследуемыми признаками,  $n-2$  – число степеней свободы,  $t_r$  – критерий уровня значимости

После определения коэффициента корреляции ( $r$ ) изучалась его статистическая значимость с помощью расчета  $t$ -критерия. Полученное значение  $t$  сравнивается его критическим значением при определенном уровне значимости и числе степеней свободы  $n-2$ . Если  $t_r > t_{\text{крит}}$ , то делается вывод о статистической значимости корреляционной связи. Оценка силы корреляционно связи исследовалась с применением таблицы Чеддока, коэффициенты которой характеризуют степень взаимосвязей (таблица 10). Также, в рамках текущего этапа статистического анализа построена корреляционная матрица, отражающая силу и направление взаимосвязей между отдельными признаками, а также влияние каждого из признаков на результирующую переменную – функционально-метаболический параметр (рис 30). Это позволяет «заложить фундамент» для проведения регрессионного анализа, а также достоверно выбрать те параметры, которые целесообразно



использовать как независимые переменные и их связь между зависимой переменной в регрессии.

При корреляционном анализе показателей окислительного метаболизма выявлены взаимосвязи разной силы между всеми исследуемыми параметрами. Отмечаются положительные ощутимые связи между обратным показателем светосуммы свечения и малоновым диальдегидом ( $r=0,68$ ,  $p<0,05$ ), в том числе парой показателей супероксиддисмутаза-малоновый диальдегид ( $r=0,64$ ,  $p<0,05$ ) и малоновый диальдегид-каталаза ( $r=0,59$ ,  $p<0,05$ ).

Таблица 10

Шкала Чеддока для качественной оценки тесноты связи между различными показателями

Абсолютное значение $r_{xy}$	Теснота (сила) корреляционной связи
Менее 0,3	Слабая
От 0,3 до 0,5	Умеренная
От 0,5 до 0,7	Ощутимая
От 0,7 до 0,9	Высокая
Более 0,9	Весьма высокая

Положительная корреляционная связь высокой силы наблюдается между парами 1/S-Imax ( $r=0,85$ ,  $p<0,05$ ), СОД-каталаза ( $r=0,87$ ,  $p<0,05$ ), МДА-Imax ( $r=0,72$ ,  $p<0,05$ ).

Слабые взаимосвязи имеются между максимальной интенсивностью свечения и СОД ( $r=0,18$ ,  $p<0,05$ ), а также каталазой ( $r=0,14$ ,  $p<0,05$ ). При этом существуют обратная умеренная корреляционная зависимость у пар 1/S-СОД ( $r=-0,48$ ,  $p<0,05$ ) и каталазой ( $r=-0,42$ ,  $p<0,05$ ) и обратной светосумме свечения-индексом стресса ( $r=-0,46$ ,  $p<0,05$ ). Можно предположить, что для комплексного анализа метаболического статуса студентов следует учитывать эти показатели.

В параметрах системной гемодинамики и вариабельности сердечного ритма выявлены положительные умеренные связи между ударным объемом и

pNN50 ( $r=0,42$ ,  $p<0,05$ ), частотой сердечных сокращений и ударной работой левого желудочка ( $r=0,37$ ,  $p<0,05$ ). Ощутимая положительная взаимосвязь наблюдается между ударным объемом – ударной работой левого желудочка ( $r=0,69$ ,  $p<0,05$ ), высокие – между парами параметров ЧСС-LF/HF ( $r=0,81$ ,  $p<0,05$ ), ЧСС-SI ( $r=0,76$ ,  $p<0,05$ ), pNN50-SI ( $r=0,83$ ,  $p<0,05$ ), а весьма высокие – между pNN50-SDNN ( $r=0,94$ ,  $p<0,05$ ) и соотношением мощностей спектра в области низких и высоких частот-индексом стресса ( $r=0,91$ ,  $p<0,05$ ).

	1/S	СОД	МДА	И <sub>max</sub>	Каталаза	ЧСС	УО	ОПСС	TP	pNN50	LF/HF	SDNN	SI	LVSW	ФМП
1/S	1	-0,48	0,68	0,85	-0,42	0,14	0,12	0,07	-0,29	0,14	-0,09	0,11	-0,46	0,06	0,57
СОД	-0,48	1	0,64	0,18	0,87	0,12	0,08	0,03	-0,19	-0,33	0,11	-0,06	0,21	-0,08	0,64
МДА	0,68	0,64	1	0,72	0,59	-0,13	-0,1	-0,15	0,13	-0,08	0,26	-0,07	0,34	0,12	0,77
И <sub>max</sub>	0,85	0,18	0,72	1	0,14	-0,01	-0,13	0,11	0,1	0,14	0,12	0,08	0,31	-0,04	0,6
Каталаза	-0,42	0,87	0,59	0,14	1	0,09	0,02	0,1	-0,16	0,07	-0,03	0,09	0,14	-0,05	0,41
ЧСС	0,14	0,12	-0,13	-0,01	0,09	1	-0,21	0,11	-0,42	-0,92	0,81	-0,87	0,76	0,37	0,78
УО	0,12	0,08	-0,1	-0,13	0,02	-0,21	1	0,13	0,09	0,42	0,27	-0,23	-0,16	0,69	-0,59
ОПСС	0,07	0,03	-0,15	0,11	0,1	0,11	0,13	1	-0,53	-0,12	-0,14	-0,08	0,17	-0,11	0,61
TP	-0,29	-0,19	0,13	0,1	-0,16	-0,42	0,09	-0,53	1	0,05	-0,47	0,29	-0,42	0,03	-0,67
pNN50	0,14	-0,33	-0,08	0,14	0,07	-0,92	0,42	-0,12	0,05	1	-0,79	0,94	0,83	-0,12	0,86
LF/HF	-0,09	0,11	0,26	0,12	-0,03	0,81	0,27	-0,14	-0,47	-0,79	1	-0,84	0,91	0,15	0,22
SDNN	0,11	-0,06	-0,07	0,08	0,09	-0,87	-0,23	-0,08	0,29	0,94	-0,84	1	-0,67	0,23	-0,23
SI	-0,46	0,21	0,34	0,31	0,14	0,76	-0,16	0,17	-0,42	0,83	0,91	-0,67	1	0,14	0,19
LVSW	0,06	-0,08	0,12	-0,04	-0,05	0,37	0,69	-0,11	0,03	-0,12	0,15	0,23	0,14	1	0,09
ФМП	0,57	0,64	0,77	0,6	0,41	0,78	-0,59	0,61	-0,67	0,86	0,22	-0,23	0,19	0,09	1

Рисунок 30 – Корреляционная матрица анализируемых показателей системной гемодинамики, вариабельности сердечного ритма и окислительного метаболизма

Умеренная отрицательная корреляционная связь обнаружена между ЧСС и TP ( $r=-0,42$ ,  $p<0,05$ ), общим периферическим сосудистыми сопротивлением и общей мощностью спектра ( $r=-0,53$ ,  $p<0,05$ ), TP и LF/HF ( $r=-0,47$ ,  $p<0,05$ ), а ощутимая – между SDNN и SI ( $r=-0,67$ ,  $p<0,05$ ) и ЧСС-pNN50 ( $r=-0,62$ ,  $p<0,05$ ). Сильная обратная взаимосвязь обнаружена между ЧСС и SDNN ( $r=-0,87$ ,  $p<0,05$ ), pNN50 и LF/HF ( $r=-0,79$ ,  $p<0,05$ ), между LF/HF и SDNN ( $r=-0,84$ ,  $p<0,05$ ), а весьма сильная выявлена у пары показателей pNN50-SDNN ( $r=-0,92$ ,  $p<0,05$ ). Взаимосвязь между остальными парами физиологических критериев была как положительная, так и отрицательная слабая. Это подтверждает

необходимость комплексного исследования функционально-адаптационных резервов на основе значений индексов системной гемодинамики и ВСР.

В тоже время была исследована взаимосвязь между результирующей переменной (ФМП) и каждым фактором, влияющим на нее. Умеренная положительная взаимосвязь обнаружена между функционально-метаболическим параметром и каталазой ( $r=0,41$ ,  $p<0,05$ ), ощутимая – между ФМП и  $1/S$  ( $r=0,57$ ,  $p<0,05$ ), ФМП и СОД ( $r=0,64$ ,  $p<0,05$ ), ФМП и  $I_{\max}$  ( $r=0,6$ ,  $p<0,05$ ), ФМП и ОПСС ( $r=0,61$ ,  $p<0,05$ ). Сильные взаимосвязи наблюдались между парами параметров ФМП-МДА ( $r=0,77$ ,  $p<0,05$ ), ФМП-ЧСС ( $r=0,78$ ,  $p<0,05$ ), ФМП-pNN50 ( $r=0,86$ ,  $p<0,05$ ). В том числе существуют обратная ощутимая корреляционная зависимость между ФМП и УО ( $r=-0,59$ ,  $p<0,05$ ), ФМП и ТР ( $r=-0,67$ ,  $p<0,05$ ). Сильных связей у переменных LF/HF, SDNN, SI и LVSW к ФМП обнаружено не было (рис. 31).

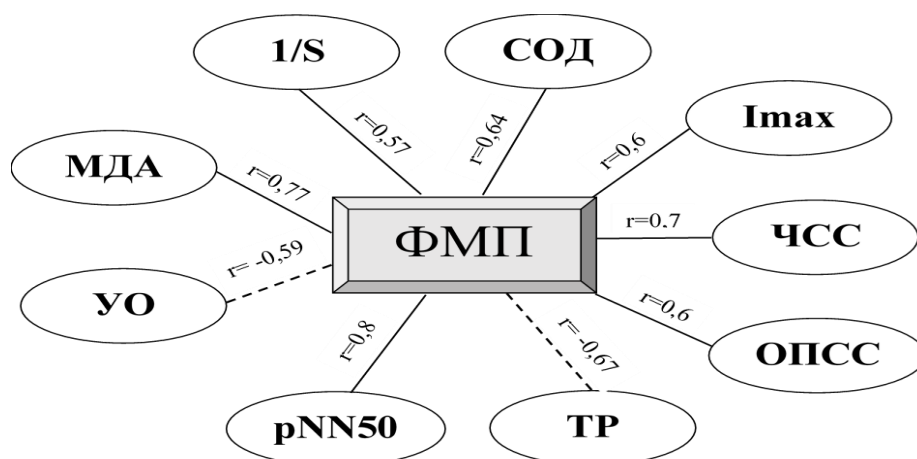


Рисунок 31 – Корреляционные взаимосвязи показателей гемодинамики, variability сердечного ритма и окислительного метаболизма с функционально-метаболическим параметром

Таким образом, корреляционный анализ может являться основой для создания модели определения ФМП для полипараметрической оценки функционально-адаптационных резервов на основании системной гемодинамики, ВСР и метаболического статуса.

В рамках выполнения второго этапа статистического исследования проведен регрессионный анализ с целью построения модели для оценки достоверности сформированной формулы расчета ФМП, учитывая показатели системной гемодинамики, ВСР и окислительного метаболизма. Применялась модель линейной регрессии с уровнем надежности результатов не менее 95 %. Перед построением уравнения регрессии анализировались факторные взаимосвязи в корреляционной матрице на наличие мультиколлинеарности. Установлены сильные положительные связи между показателями СОД и каталазы ( $r=0,87$ ,  $p<0,05$ ), в параметрах рNN50-SDNN-SI ( $r=0,94$  между рNN50-SDNN и  $r=0,83$  между рNN50-SI,  $p<0,05$ ) и пары ЧСС-LF/HF ( $r=0,81$ ,  $p<0,05$ ). Дальнейшее изучение позволило наблюдать более сильное влияние на интегральный функционально-метаболический параметр СОД в отличие от каталазы ( $r=0,64$  для СОД и  $r=0,6$  для каталазы,  $p<0,05$ ). Кроме того, рNN50 влияет на ФМП сильнее чем SDNN и SI, при чем для последних определена слабая взаимосвязь с параметром ФМП ( $r=0,86$  для рNN50,  $r=-0,23$  для SDNN и  $r=0,19$  для SI,  $p<0,05$ ). Такой же результат зафиксирован для ЧСС к ФМП ( $r=0,78$  для ЧСС в сравнении с  $r=0,22$  для LF/HF,  $p<0,05$ ). При этом определена слабая корреляция ударной работы левого желудочка и функционально метаболического параметра ( $r=0,09$ ,  $p<0,05$ ). На основании этого, показатели SDNN, SI, LF/HF и LVSW не включали в регрессионное уравнение.

Результаты дисперсионного анализа между факторными переменными, используемыми в регрессионной модели представлены в таблице 11. Сумма квадратов отклонений (SS) в регрессии равен 21,9, а в остатке – 0,02. Число средних квадратов отклонений определялось с использованием формулы  $MS=SS/df$ . Межгрупповая дисперсия определилась в значении 2,4, а внутригрупповая – 0,0001. Затем рассчитывался F-критерий Фишера и его значение соотносилось с  $F_{крит}$ . В рассматриваем случае можно с уверенностью отвергнуть нулевую гипотезу, так как  $F > F_{крит}$  при уровне значимости 0,05, что означает статистически значимое различие средних значений выборок.

Таблица 11

Дисперсионный анализ факторных переменных в модели линейной регрессии

	<b>df</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>F<sub>крит</sub></b>
<b>Регрессия</b>	9	21,9	2,4	4086,55	$1 \cdot 10^{-185}$
<b>Остаток</b>	429	0,02	0,0001		
<b>Итого</b>	438	21,9			

Затем определяли значения коэффициентов уравнения регрессии, стандартную ошибку, их статистическая значимость, нижний и верхний доверительные интервалы с вероятностью 95 % (таблица 12).

Таблица 12

Коэффициенты уравнения регрессии, их статистическая значимость и доверительные интервалы

	<b><math>\beta</math></b>	<b>Стандартная ошибка</b>	<b>P-значение</b>	<b>Нижний ДИ (95%)</b>	<b>Верхний ДИ (95%)</b>
<b>Y</b>	-3,19	0,08	$1 \cdot 10^{-73}$	-3,34496	-3,04212
<b>X<sub>1</sub></b>	0,95	0,02	$6,5 \cdot 10^{-76}$	0,91206	0,99871
<b>X<sub>2</sub></b>	0,01	0,0003	$1,1 \cdot 10^{-49}$	0,00911	0,01067
<b>X<sub>3</sub></b>	0,99	0,003	$5 \cdot 10^{-179}$	0,98906	1,00136
<b>X<sub>4</sub></b>	1	0,005	$3 \cdot 10^{-153}$	0,99126	1,01149
<b>X<sub>6</sub></b>	0,02	0,0002	$2 \cdot 10^{-120}$	0,02034	0,02112
<b>X<sub>7</sub></b>	-0,01	0,0001	$1 \cdot 10^{-111}$	-0,01023	-0,00978
<b>X<sub>8</sub></b>	$5,9 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$8,4 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$7,9 \cdot 10^{-5}$
<b>X<sub>9</sub></b>	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	0,03	$-4 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$
<b>X<sub>10</sub></b>	0,002	0,0002	$9,9 \cdot 10^{-17}$	0,00171	0,00258

*Примечание: Y – функционально-метаболический параметр, X<sub>1</sub> – показатель обратной общей площади под кривой хемилюминесценции, X<sub>2</sub> – супероксиддисмутаза, X<sub>3</sub> – малоновый диальдегид, X<sub>4</sub> – максимальная интенсивность свечения хемилюминесценции, X<sub>6</sub> – частота сердечных сокращений, X<sub>7</sub> – ударный объем, X<sub>8</sub> – общее периферическое сосудистое сопротивление, X<sub>9</sub> – общая мощность спектра, X<sub>10</sub> – доля NN интервалов с отличием друг от друга на 50 мс и более,  $\beta$  – коэффициенты уравнения регрессии*

Каждое из p-значений дают уверенность, что коэффициенты достоверны и не случайны. В тоже время можно отметить низкий разброс доверительных

интервалов для значений коэффициентов с 95 % достоверностью. Таким образом уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \Phi\text{МП} = & -3,194 + 0,955 * 1/S + 0,01 * \text{СОД} + 0,1 * \text{МДА} + 1,001 * I_{\text{max}} \\ & + 0,021 * \text{ЧСС} - 0,01 * \text{УО} + 0,00006 * \text{ОПСС} + 0,0001 * \text{ТР} + 0,002 * p\text{NN50} \end{aligned}$$

где  $1/S$ ;  $I_{\text{max}}$ ;  $УО$ ;  $ТР$ ;  $p\text{NN50}$  – независимые переменные уравнения регрессии,  $-3,194$  – свободный член уравнения регрессии,  $0,955$ ;  $0,01$ ;  $0,1$ ;  $1,001$ ;  $0,021$ ;  $0,01$ ;  $0,00006$ ;  $0,0001$ ;  $0,002$  – регрессионные коэффициенты

Графическое представление уравнения регрессии представлено на рисунке 32.

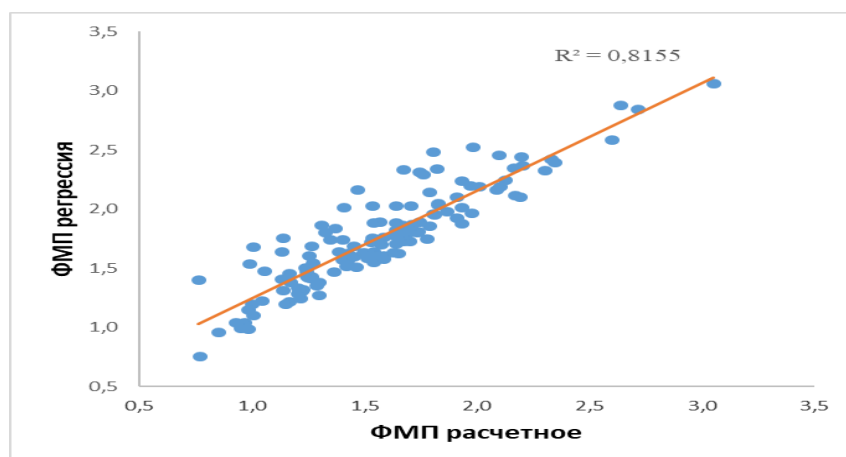


Рисунок 32 – Графическая модель линейной регрессии прогнозирования значения функционально-метаболического параметра

Коэффициент детерминации  $R^2$  равен  $0,8155$ , что сообщает о зависимости полученной модели уравнения от значения ФМП, рассчитанного по предложенной формуле, на  $81,5\%$ . Среднее значение модельной ошибки  $3,5\%$ , а максимальное –  $4,4\%$ , что подтверждает статистическую значимость полученной регрессионной модели. На это указывает значение остатков, характеризующие минимальную разность между наблюдаемым значением независимой переменной, и его значением, предсказанным регрессией. Оценка коэффициента детерминации модели и ее статистической значимости позволяет генерировать уравнение регрессии с наличием средних для предсказанных

значений ФМП с доверительными интервалами в 95 % для генеральных средних. Проверка соблюдения условий для регрессионного анализа показала независимость остатков и их нормальное распределение, и одинаковый разброс на всем протяжении предсказанных значений независимой переменной, что подтверждает достаточную валидность модели. Следует учитывать и одно из ключевых условий для выполнения линейного регрессионного анализа, а именно – количественный характер зависимой переменной. Возможно сделать вывод о высоком согласовании полученной модели с исходными данными ФМП. Вышеизложенный корреляционно-регрессионный анализ позволяет утверждать о высокой степени статистической значимости полученной регрессионной модели и целесообразности использования при расчете функционально-метаболического параметра следующих показателей: обратный параметр общей площади под кривой хемилюминесценции; супероксиддисмутаза; малонового диальдегида; максимальная интенсивность свечения хемилюминесценции; частоты сердечных сокращений; ударный объем; общее периферическое сосудистое сопротивление; общая мощность спектрального анализа кардиоритма и доли NN интервалов, отличающихся друг от друга на 50 миллисекунд и более. Это позволит использовать его в качестве интегрального значения уровня адаптационных резервов организма студентов и его функционально-метаболического статуса.

## ГЛАВА 4. МОНИТОРИНГ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТУДЕНТОВ В СОСТОЯНИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ПОКОЯ

Одним из способов определения уровня работы ССС является оценка гемодинамических индикаторов с помощью ручного расчета, используя при этом антропометрические параметры, возраст, величину АД и ЧСС. Кроме того, осуществить мониторинг гемодинамических индикаторов возможно с помощью ряда диагностических комплексов, одним из которых является система спортивного тестирования «MedicalSoft», который и был использован для проведения комплексной оценки. Изучались показатели гемодинамики и параметры ВСР студентов мужского пола 1-3 курсов обучения города Нижнего Новгорода в состоянии физиологического покоя.

### *4.1. Определение гемодинамических показателей студентов в состоянии физиологического покоя методом тонометрии*

Результаты исследования гемодинамических показателей студентов 1-3 курсов в состоянии физиологического покоя, полученные тонометрическим способом, представлены в таблице 13. Расчеты осуществлялись с использованием показателей АД, ЧСС, возраста, длины и массы тела. Студенты были дифференцированы по курсам обучения, где статистически значимые различия у обучающихся первого и второго курсов обучения отсутствуют, однако они присутствуют у студентов третьего курса по отношению к остальным группам обучающихся, и были выявлены тенденции к сдвигам гемодинамических значений в сторону напряжения регуляторных механизмов.

Согласно измерениям с помощью автоматического тонометра, показатель САД и ДАД у студентов 1 курса в состоянии покоя определился на уровне  $124,1 \pm 7,7 / 75,7 \pm 6,9$  мм.рт.ст. У студентов 2 курса в состоянии покоя он наблюдался в значении  $125,9 \pm 7,9 / 76,3 \pm 5,8$  мм.рт.ст. ( $p > 0,05$  по отношению к студентам 1 курса). Среди третьекурсников отмечается увеличение показателей на  $7,1 \%$  /  $1,1 \%$  относительно остальных групп студентов ( $p < 0,05$  для параметра



САД). Полученные показатели находятся в пределах физиологической нормы у всех сформированных групп, однако у третьекурсников заметно более высокое значение САД. (рис. 33А, рис. 33Б).

Таблица 13

Результаты гемодинамических показателей студентов 1-3 курсов в состоянии физиологического покоя, полученные с помощью проведения тонометрии (n=438), М±m

Параметр	Группа студентов			P<0,05
	Студенты 1 курса (n= 152)	Студенты 2 курса (n= 147)	Студенты 3 курса (n= 139)	
САД, мм.рт.ст.	124,1±7,7	125,9±7,9	132,9±8,4	1-3; 2-3
ДАД, мм.рт.ст.	75,7±6,9	76,3±5,8	76,5±5,8	
ЧСС, уд/мин	71,9±5,2	71,2±5,9	79,4±6,1	1-3; 2-3
УО, мл	74,0±6,1	78,9±6,3	65,9±6,2	1-3; 2-3
СВ, л/мин	5,3±0,6	5,6±0,6	5,2±0,7	
СрАД, мм.рт.ст.	91,8±2,4	92,8±2,3	95,3±3,1	1-3; 2-3
ОПСС, дин·с·см <sup>-5</sup>	1385,3±91,8	1325,4±87,4	1465,7±76,9	1-3; 2-3
ППТ, м <sup>2</sup>	1,9±0,1	1,9±0,1	2,0±0,1	
СИ, л/мин/м <sup>2</sup>	2,8±0,5	3,0±0,4	2,6±0,3	
АП, усл. ед.	2,1±0,1	2,2±0,1	2,5±0,1	1-3; 2-3

Примечание: P – достоверность отличий между группами 1, 2, 3.

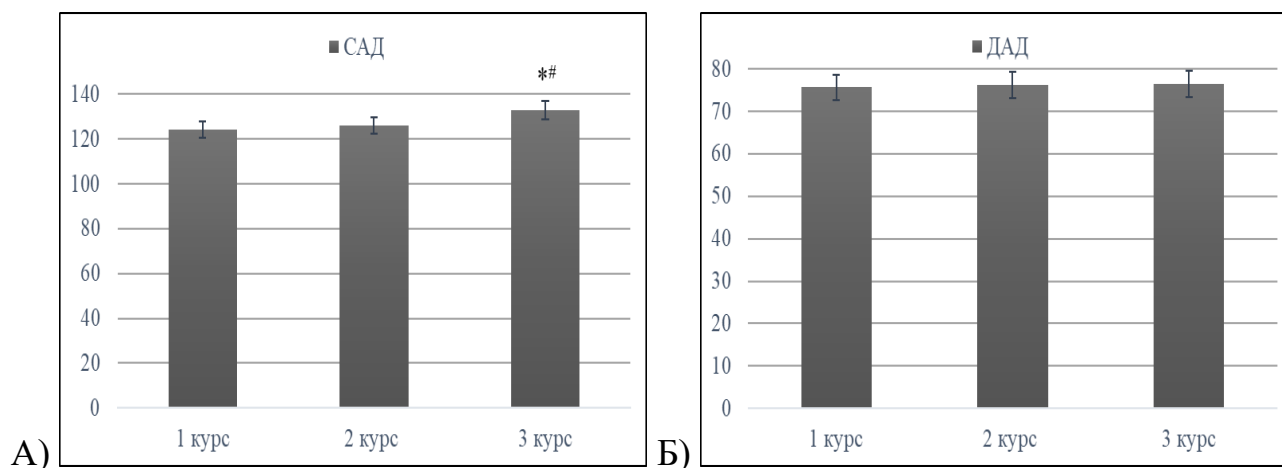


Рисунок 33 – Показатели систолического (А) и диастолического (Б) артериального давления у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя по данным автоматического тонометра

Показатель ЧСС у студентов 1 курса в состоянии покоя находился на уровне 71,9±5,2 уд/мин (рис 34А). У испытуемых 2 курса он находился на

уровне  $71,2 \pm 5,9$  уд/мин, а среди студентов 3 курса –  $79,4 \pm 6,1$  уд/мин ( $p < 0,05$  по отношению к 1 и 2 курсу). Полученные показатели находились в пределах физиологической нормы, при этом у студентов 3 курса наблюдался увеличение показателя в сторону верхней границы норматива.

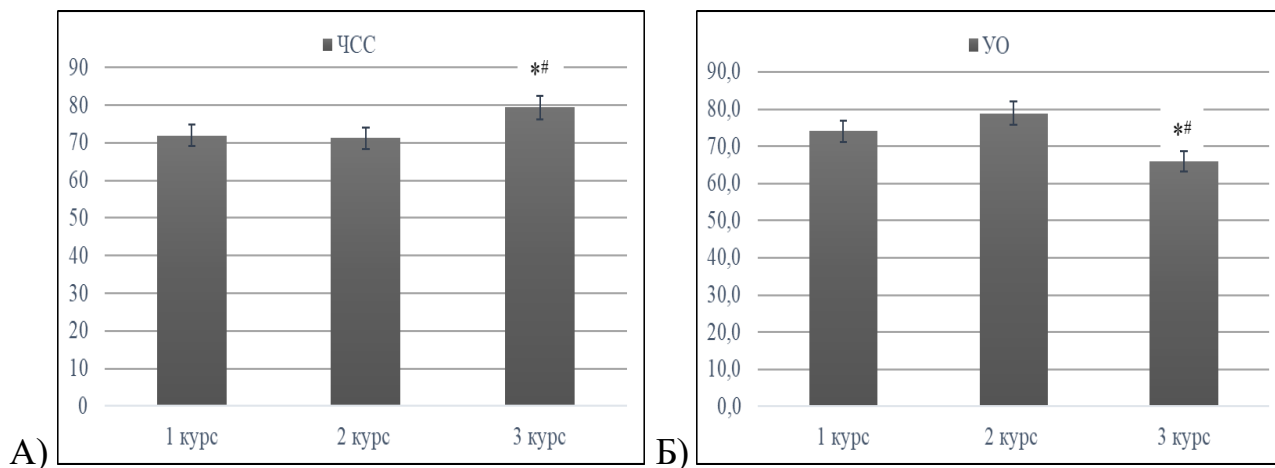


Рисунок 34 – Показатели частоты сердечных сокращений (А) и ударного объема (Б) у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя по данным автоматического тонометра и данным общепринятых формул

Для определения характеристик ССС, связанных с насосной функцией сердца, необходимо получить данные параметров, характеризующих вышеуказанную функцию. Первым показателем для изучения явился УО, рассчитываемый с использованием формулы Старра и определился у студентов 1 курса в состоянии покоя на уровне  $74,0 \pm 6,1$  мл (рис 34Б). У студентов 2 курса в состоянии покоя показатель УО находился на уровне  $78,9 \pm 6,3$  мл, а среди тестируемых студентов 3 курса УО составил  $65,9 \pm 6,2$  мл ( $p < 0,05$  по отношению к 1 и 2 курсу). Следует отметить более низкое значение ударного объема у третьекурсников, что может быть компенсировано увеличением ЧСС.

Следующим изучаемым параметром, связанным с насосной функцией сердца, явился показатель СВ, рассчитываемый с использованием данных УО и ЧСС. У студентов 1 курса в состоянии покоя он находился на уровне  $5,3 \pm 0,6$  л/мин (рис. 35А), а среди студентов 2 курса он составил  $5,6 \pm 0,6$  л/мин. Аналогичное заключение можно сделать и по обучающимся 3 курса –  $5,2 \pm 0,7$

л/мин ( $p > 0,05$  для всех параметров). У некоторых студентов-третьекурсников отмечалось значение ниже 4,0 л/мин, что может трактоваться как неоптимальная работа насосной функции сердца, и, следовательно, снижению адаптивных механизмов сердечно-сосудистой системы.

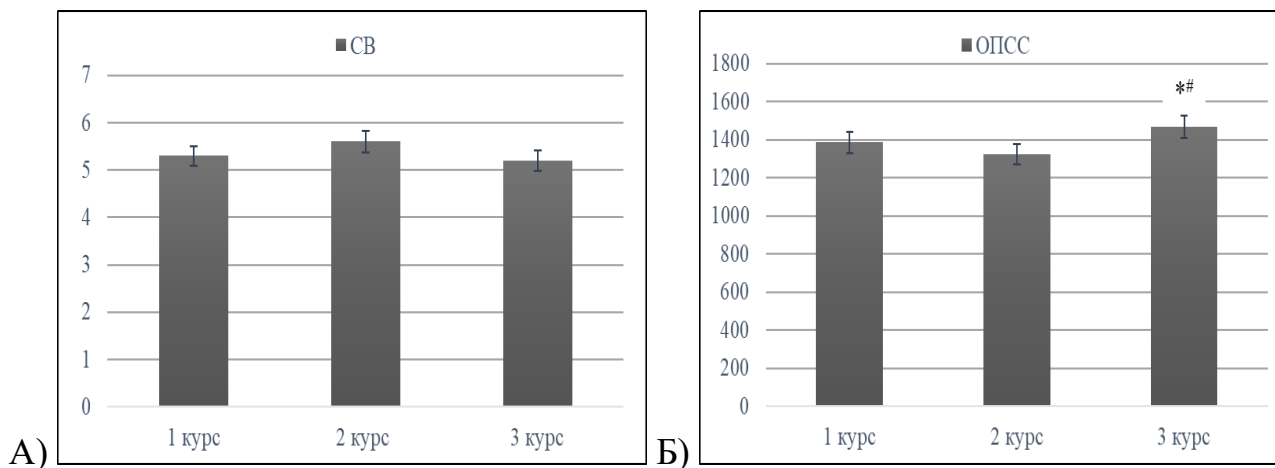


Рисунок 35 – Показатели сердечного выброса (А) и общего периферического сосудистого сопротивления (Б) у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя по данным общепринятых формул

ОПСС рассчитывался с использованием СрАД и СВ и у студентов 1 курса в состоянии покоя находился на уровне  $1385,3 \pm 91,8$  дин·с·см<sup>-5</sup> (рис 35Б), у испытуемых 2 курса –  $1325,4 \pm 87,4$  дин·с·см<sup>-5</sup>, среди студентов 3 курса –  $1465,7 \pm 76,9$  дин·с·см<sup>-5</sup> ( $p < 0,05$  относительно студентов 1 и 2 курсов). В целом, показатели находятся в пределах норматива, однако наиболее высокое значение параметра наблюдалось у студентов 3 курса, что может трактоваться как увеличение сосудистого тонуса, а также согласуется со значениями АД и сниженным значением УО у данной группы студентов.

Для расчета СИ использовались параметры СВ и площади поверхности тела. У испытуемых 1 курса в состоянии покоя он определился на уровне  $2,8 \pm 0,5$  л/мин/м<sup>2</sup> (рис. 36А), среди студентов 2 курса –  $3,0 \pm 0,4$  л/мин/м<sup>2</sup>, среди студентов 3 курса –  $2,6 \pm 0,3$  л/мин/м<sup>2</sup> ( $p > 0,05$  для всех параметров), что полностью согласуется показателями УО и СВ у данного контингента тестируемых студентов.

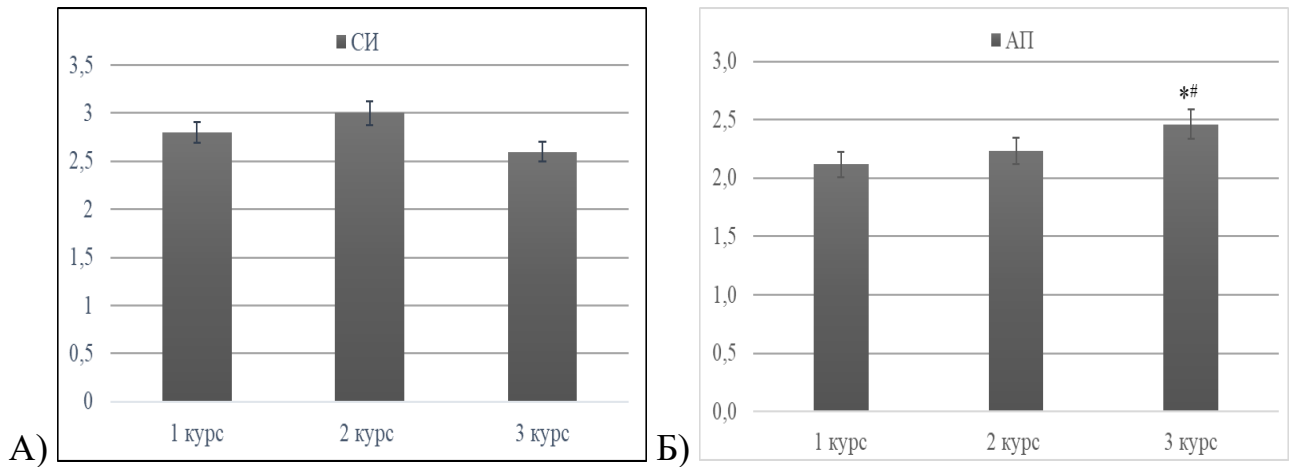


Рисунок 36 – Показатели сердечного индекса (А) и адаптационного потенциала (Б) у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя по данным общепринятых формул

Расчет адаптационного потенциала (АП) осуществлялся с помощью формулы Р.М. Баевского (рис. 36Б). У студентов первого и второго курсов его значение составило  $2,1 \pm 0,1$  и  $2,2 \pm 0,1$ , а у третьекурсников –  $2,5 \pm 0,1$  усл. ед. ( $p < 0,05$ ). Результаты этого показателя всех групп студентов соответствуют уровню удовлетворительной адаптации, однако у студентов третьего курса наблюдается тенденция к напряжению адаптационных механизмов и, возможно, к скрытому донозологическому состоянию.

При анализе данных, полученных с помощью тометрического способа с ручной калькуляцией данных установлено, что студенты 3 курса имеют тенденцию к снижению адаптационных резервов, относительно остальных групп обучающихся. Это подтверждается показателями, определенными на границах физиологического диапазона (сниженные возможности сердца в выбросе и распределении крови по организму по показателю ударного объема, сосудистого спазма по параметру общего периферического сосудистого сопротивления, напряжение регуляторных систем по показателю адаптационного потенциала). Зафиксирована статистически достоверная разница в большинстве показателей между студентами 3 курса с остальными группами обучающихся. Это обуславливает необходимость детального наблюдения за этими испытуемыми.

#### 4.2. Характеристика гемодинамических показателей студентов в состоянии физиологического покоя с помощью «системы спортивного тестирования «MedicalSoft»

Следующим этапом исследования было тестирование студентов 1, 2 и 3 курсов в состоянии покоя с помощью программно-аппаратного комплекса система спортивного тестирования «MedicalSoft».

Результаты аппаратной диагностики включали в себя гемодинамические индикаторы, а также статистический и спектральный анализ вариабельности сердечного ритма (таблица 14).

Таблица 14

Результаты гемодинамических показателей студентов 1-3 курсов в состоянии физиологического покоя, полученные с помощью «системы спортивного тестирования «MedicalSoft» (n=438), М±m

Параметр	Группа студентов			P<0,05
	Студенты 1 курса (n= 152)	Студенты 2 курса (n= 147)	Студенты 3 курса (n= 139)	
САД, мм.рт.ст.	123,7±8,1	124,9±8,6	131,3±8,4	1-3; 2-3
ДАД, мм.рт.ст.	75,5±5,8	75,9±5,7	80,3±5,4	1-3; 2-3
ЧСС, уд/мин	70,2±5,4	71,9±5,8	80,4±5,6	1-3; 2-3
УО, мл	73,6±6,3	77,1±6,2	66,3±6,2	1-2; 1-3; 2-3
СВ, л/мин	5,2±0,8	5,5±0,7	5,3±0,8	
ОПСС, дин·с·см <sup>-5</sup>	1385,3±88,5	1325,4±85,8	1465,8±80,8	1-3; 2-3
pNN50, %	22,1±1,6	24,9±2,9	16,8±2,8	1-2; 1-3; 2-3
SDNN, мсек	47,9±1,9	51,3±1,9	42,6±1,7	1-2; 1-3; 2-3
СИ, л/мин/м <sup>2</sup>	2,8±0,5	3,0±0,4	2,6±0,3	
LVSW, мсек	64,3±9,4	65,8±8,1	61,5±7,6	1-3; 2-3
LF/HF, усл.ед.	1,6±0,1	1,8±0,1	2,6±0,1	1-2; 1-3; 2-3
TP, мс <sup>2</sup>	1675,7±61,8	1667,3±50,5	1661,3±73,4	1-2; 1-3; 2-3
VLF, мс <sup>2</sup>	600,7±27,5	624,3±23,4	653,3±31,6	1-3; 2-3
LF, мс <sup>2</sup>	553,7±13,2	559,8±15,6	607,7±15,5	1-3; 2-3
HF, мс <sup>2</sup>	521,2±20,2	483,3±17,4	400,2±14,8	1-2; 1-3; 2-3
VLF,%	35,9±2,7	37,5±3,6	39,3±1,6	1-2; 1-3; 2-3
LF, %	33,1±3,1	33,6±2,9	36,6±1,9	1-3; 2-3
HF, %	31,1±1,8	28,9±2,8	24,1±2,7	1-2; 1-3; 2-3
SI, усл. ед.	89,4±9,2	102,6±9,7	154,7±12,3	1-2; 1-3; 2-3

Примечание: P – достоверность отличий между группами 1, 2, 3.

Показатель АД, как систолического, так и диастолического у студентов 1 курса в состоянии покоя наблюдался на уровне 123,7±8,1/75,5±5,8 мм.рт.ст. У

студентов 2 курса он увеличен на 1 %, а среди третьекурсников – на 6,1 % (рис 37). Сопоставление полученных данных с возрастными нормативами позволило установить их нахождение в пределах физиологического диапазона, при этом у студентов 3 курса они были зафиксированы в более высоком значении относительно остальных исследуемых групп ( $p < 0,05$ ).

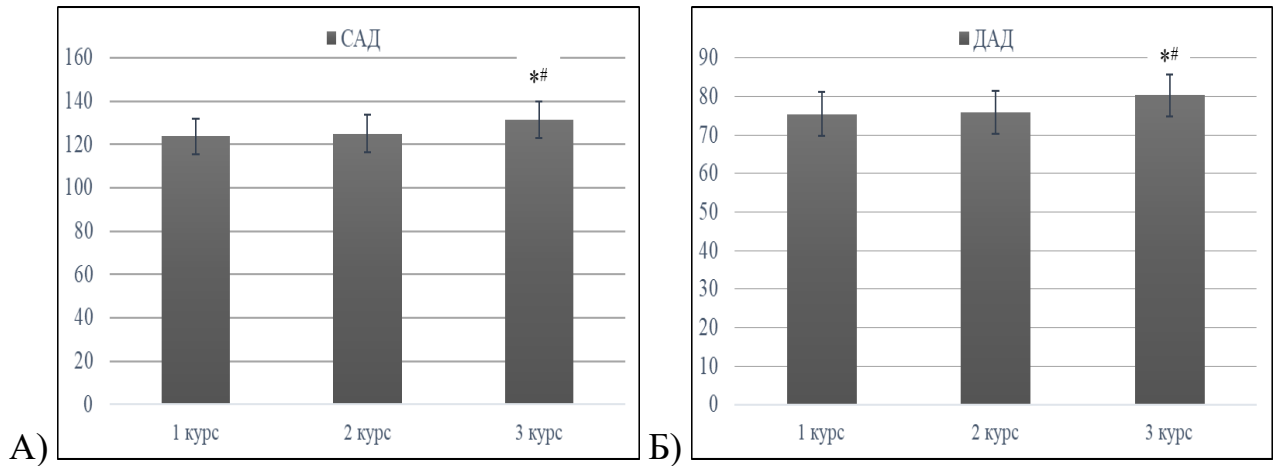


Рисунок 37 – Показатели систолического (А) и диастолического (Б) артериального давления у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя по данным прибора «MedicalSoft»

ЧСС среди студентов 1 курса наблюдался в пределах  $70,2 \pm 5,4$  уд/мин (рис 38А). У испытуемых 2 курса он находился на уровне  $71,9 \pm 5,8$  уд/мин, а у третьекурсников определился в наиболее высоком значении, относительно остальных групп студентов, и составил  $80,4 \pm 5,6$  уд/мин ( $p < 0,05$ ). Следует отметить, что значение ЧСС у студентов 3 курса приближается к верхней границе физиологического норматива.

Следующим исследуемым индикатором стал параметр УО. У студентов 1 курса в состоянии покоя он определился в значении  $73,6 \pm 6,3$  мл (рис 38Б). Следует отметить, что у студентов 2 курса значение данного индикатора было самым высоким, что может указывать увеличение сократительной способности миокарда ( $7,1 \pm 6,2$  мл), тогда как среди студентов 3 курса вновь наблюдалось его уменьшение по отношению к остальным группам испытуемых лиц, и составил  $66,3 \pm 6,2$  мл ( $p < 0,05$  для всех показателей). При этом, у

третьекурсников отмечено более высокое значение ЧСС, что может быть компенсаторной реакцией организма. С учетом нормативов, указанных разработчиками оборудования, полученные показатели находились в пределах физиологически допустимой нормы.

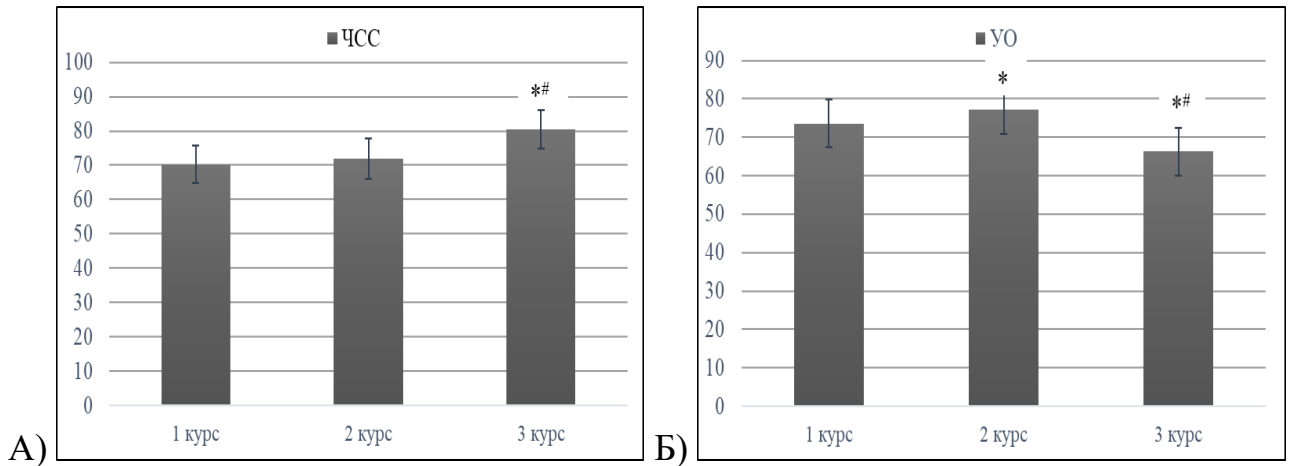


Рисунок 38 – Показатели частоты сердечных сокращений (А) и ударного объема (Б) у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя по данным прибора «MedicalSoft»

Еще одним параметром, характеризующим насосную функцию сердца, стал показатель СВ, который был зафиксирован на уровне  $5,2 \pm 0,8$  л/мин у студентов 1 курса (рис 39А). Среди студентов 2 курса он был установлен на уровне  $5,5 \pm 0,7$  л/мин, тогда как у студентов 3 курса определился в пределах  $5,3 \pm 0,8$  л/мин ( $p > 0,05$  для всех параметров).

Показатель общего ОПСС, характеризующий суммарное сопротивление параллельных сосудистых сетей большого круга кровообращения, у студентов 1 курса находился на уровне  $1385,3 \pm 88,5$  дин·с·см<sup>-5</sup> (рис 39Б). У испытуемых 2 курса в состоянии покоя данный параметр наблюдался на уровне  $1325,4 \pm 85,8$  дин·с·см<sup>-5</sup>, а среди студентов 3 курса он наблюдался в значении  $1465,8 \pm 80,8$  дин·с·см<sup>-5</sup>. Это может характеризовать увеличение спазма сосудов у студентов 3 курса, что согласовывается с параметрами насосной функции сердца и АД у них ( $p < 0,05$  по отношению к студентам 1 и 2 курсов). По данным аппаратного

комплекс, ОПСС у третьекурсников незначительно выше физиологического норматива.

Показатель, отражающий степень преобладания вагуса, а также скорость переключения variability сердечного ритма (pNN50), у студентов 1 курса в состоянии покоя находился на уровне  $22,1 \pm 1,6$  % (рис 40А).

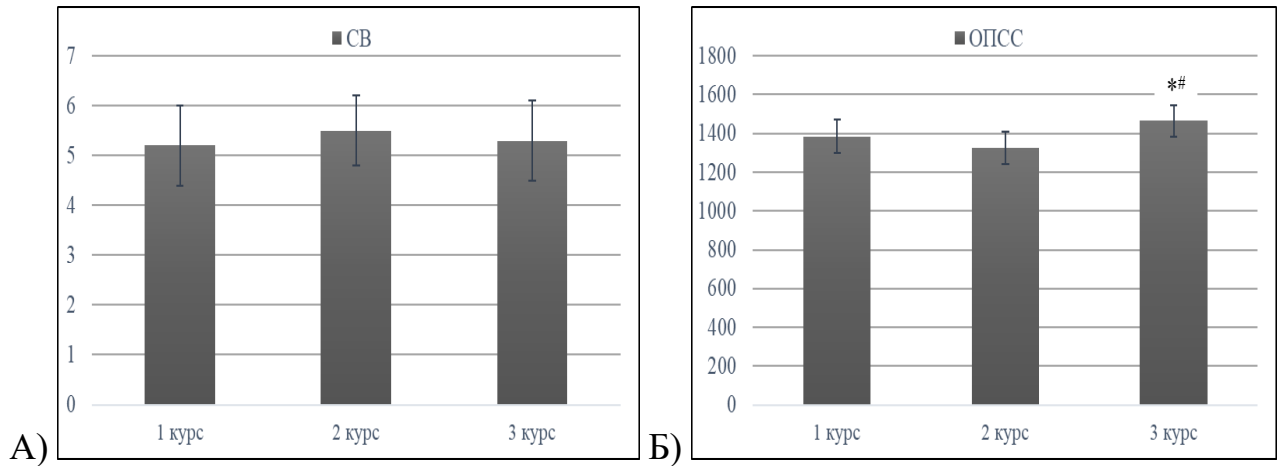


Рисунок 39 – Показатели сердечного выброса (А) и общего периферического сосудистого сопротивления (Б) у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя по данным прибора «MedicalSoft»

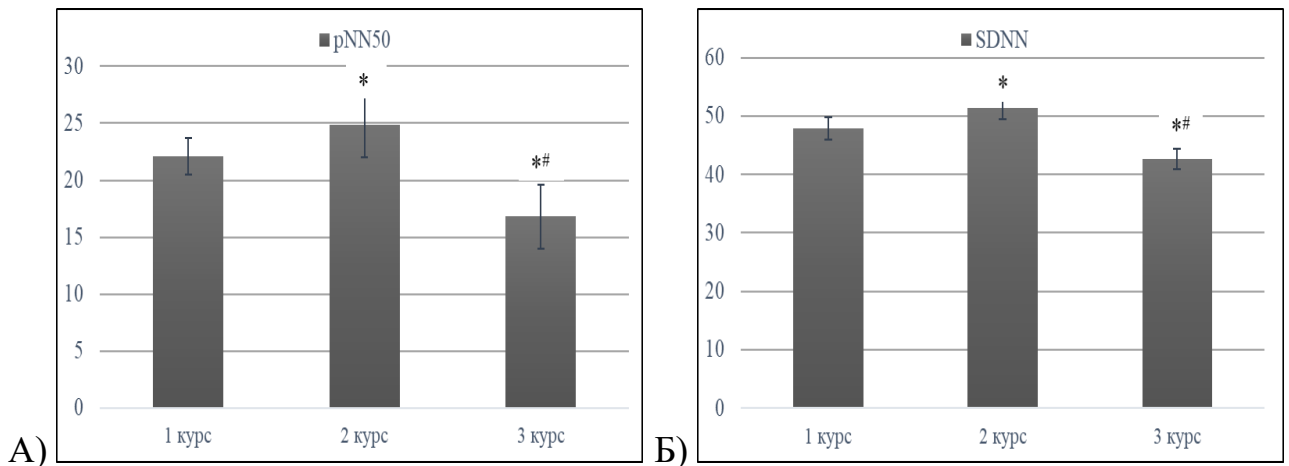


Рисунок 40 – Показатели pNN50 (А) и стандартного отклонения средних NN интервалов (Б) у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя по данным прибора «MedicalSoft»

Среди студентов 2 курса его значение составило  $24,9 \pm 2,9$  %, а у испытуемых 3 курса –  $16,8 \pm 2,8$  % ( $p < 0,05$  для всех параметров). У всех испытуемых значение показателя находилось в пределах норматива, указывая



на относительную стабильность переключения ВСР, однако у студентов 3 курса существует тенденция к снижению активности автономного контура регуляции. При изучении SDNN, у первокурсников и второкурсников в состоянии покоя его значение составило  $47,9 \pm 1,9$  мсек и  $51,3 \pm 1,9$  мсек (рис. 40Б), а среди третьекурсников –  $42,6 \pm 1,7$  мсек ( $p < 0,05$  для всех показателей). Это находит свое отражение в значениях параметра  $pNN50$ , показывая снижение вариативности кардиоритма у студентов 3 курса.

Следующим исследуемым параметром стал СИ, который связывает сердечный выброс в течение с площадью поверхности тела. Среди студентов 1 курса он наблюдался на уровне  $2,8 \pm 0,5$  л/мин/м<sup>2</sup> (рис 41А), у испытуемых 2 курса –  $3,0 \pm 0,4$  л/мин/м<sup>2</sup>, а у студентов 3 курса –  $2,6 \pm 0,3$  л/мин/м<sup>2</sup> ( $p > 0,05$ ) с отсутствием статистически значимых различий между группами обучающихся.

Показатель ударной работы левого желудочка у первокурсников находился на уровне  $64,3 \pm 0,4$  мсек (рис 41Б), среди студентов 2 курса –  $65,8 \pm 1,1$  мсек, у студентов 3 курса –  $61,5 \pm 0,6$  мсек ( $p < 0,05$  по сравнению с обучающимися 1 и 2 курсов).

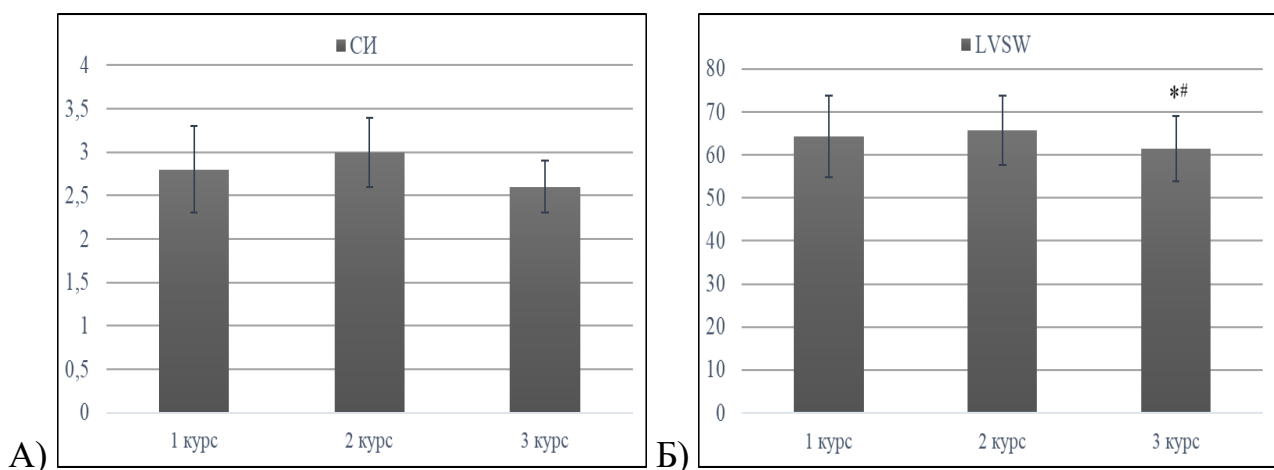


Рисунок 41 – Показатели сердечного индекса (А) и ударной работы левого желудочка (Б) у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя по данным прибора «MedicalSoft»

Соотношение мощностей спектрального анализа в областях низких и высоких частот, который указывает на баланс симпатического и

парасимпатического отделов ВНС, у студентов 1 курса находился на уровне  $1,6 \pm 0,1$  усл.ед. (рис 42А). По мере увеличения курса отмечено увеличение его значения: у студентов 2 курса –  $1,8 \pm 0,1$  усл.ед., а среди третьекурсников –  $2,6 \pm 0,1$  усл.ед. ( $p < 0,05$  для всех показателей), что выходит за верхний предел норматива, характеризуя увеличение активности симпатического отдела ВНС. Показатели находятся в пределах норматива, однако у третьекурсников отмечается наличие умеренной симпатикотонии в состоянии физиологического покоя.

Показатель суммарной мощности спектра у студентов 1 курса в состоянии покоя находился на уровне  $1675,7 \pm 11,8$  мс<sup>2</sup>, у 2 курса –  $1667,3 \pm 10,5$  мс<sup>2</sup>, а 3 курса –  $1661,3 \pm 10,8$  мс<sup>2</sup> (рис 42Б). Имеется статистически достоверная разница в показателях ТР между группами студентов ( $p < 0,05$ ). Отмечено снижение общей мощности спектра у третьекурсников, что сопряжено со статистическими значениями ВСР.

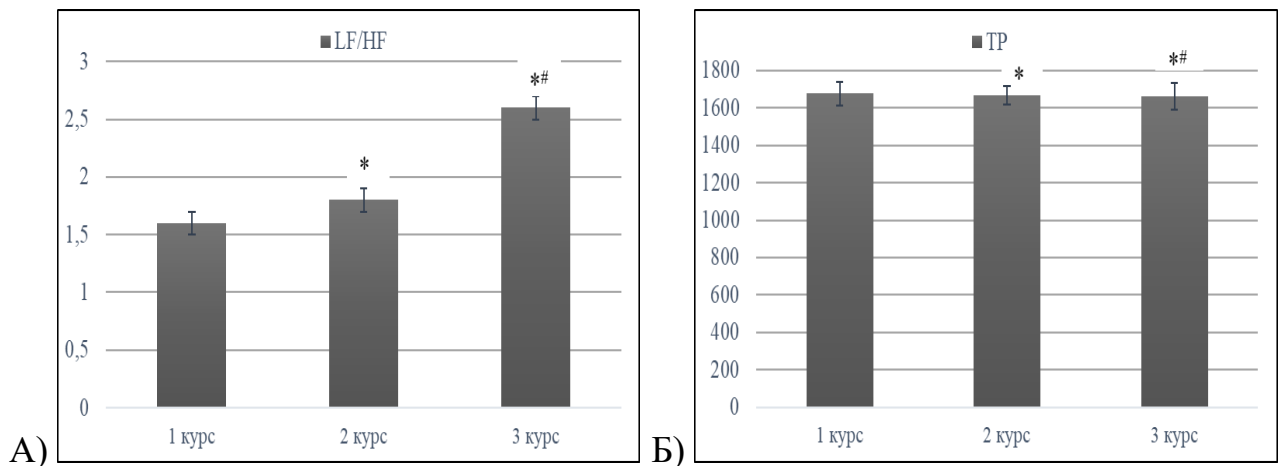


Рисунок 42 – Показатели индекса вегетативного равновесия (А) и суммарной мощности спектра (Б) у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя по данным прибора «MedicalSoft»

Показатель VLF у студентов 1 курса в состоянии покоя находился на уровне  $600,7 \pm 7,5$  мс<sup>2</sup> (рис 43А). Среди студентов 2 курса наблюдается увеличение показателя до  $624,3 \pm 7,5$  мс<sup>2</sup>, а у студентов 3 курса параметр определился на уровне  $653,3 \pm 7,7$  мс<sup>2</sup> ( $p < 0,05$  относительно студентов 1 и 2

курсов). Его относительное значение у первокурсников составило  $35,9 \pm 0,7$  % (рис 44А), у второкурсников –  $37,5 \pm 0,6$  %, у третьекурсников –  $39,3 \pm 0,6$  %, что указывает на усиление включения центрального контура регуляции ( $p < 0,05$  для всех показателей).

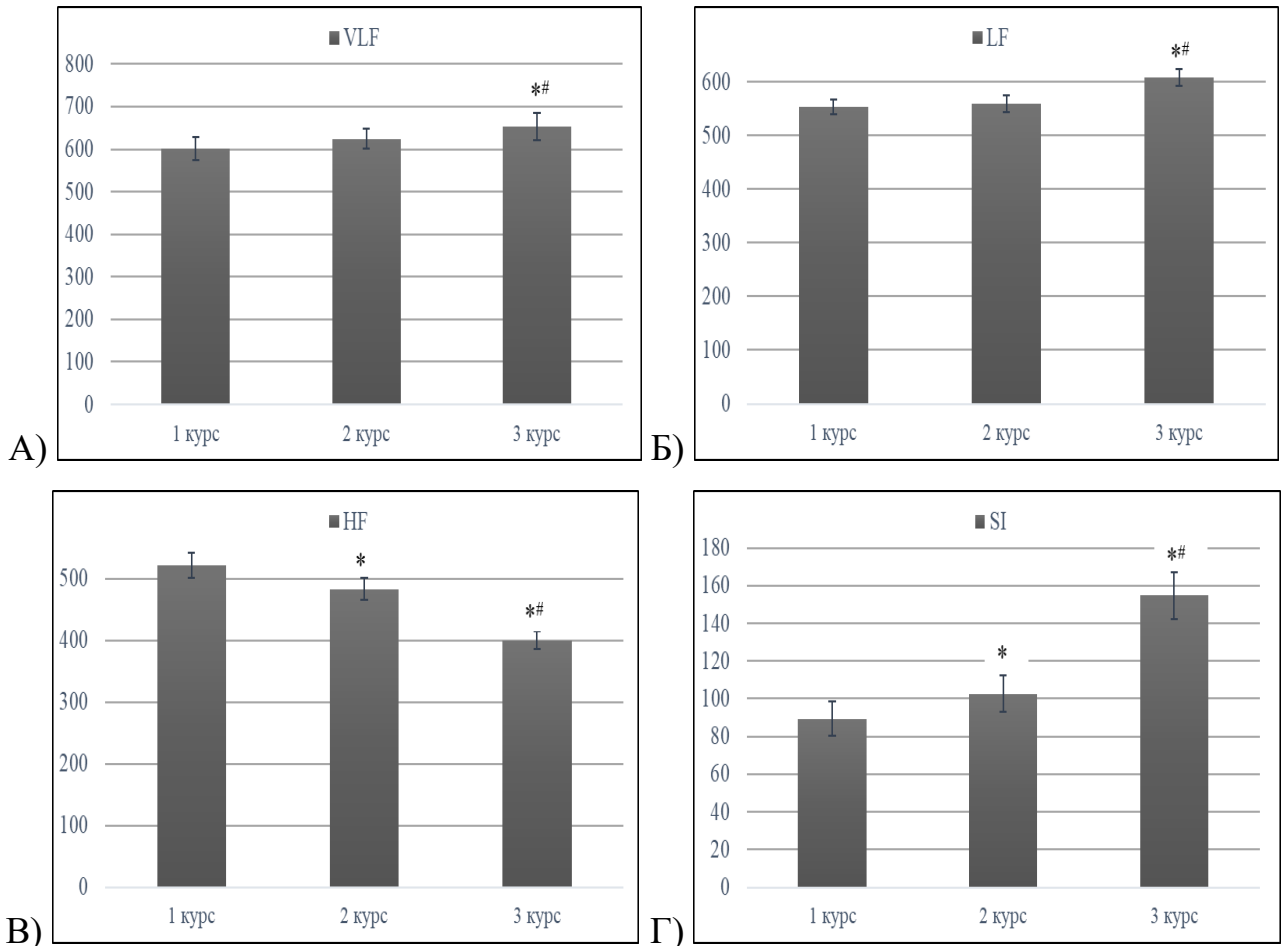


Рисунок 43 – Абсолютное значение мощности спектра в области очень низких частот (А), низких частот (Б), высоких частот (В) и индекс стресса (Г) у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя по данным прибора «MedicalSoft»

Показатель LF, являющийся маркером симпатической регуляции миокарда и характеризующий регуляцию сосудистого тонуса, у студентов 1 курса в состоянии покоя находился на уровне  $553,7 \pm 13,2$   $\text{мс}^2$  (рис 43Б), среди испытуемых 2 курса –  $559,8 \pm 15,6$   $\text{мс}^2$ , а у третьекурсников –  $607,7 \pm 15,5$   $\text{мс}^2$  ( $p < 0,05$  относительно студентов 1 и 2 курсов), что может характеризовать у них повышенную симпатическую стимуляцию миокарда. Его относительное значение у обучающихся 1 курса составило  $33,1 \pm 1,1$  % (рис 44Б), у студентов 2

курса –  $33,6 \pm 0,9$  %, у третьекурсников –  $36,6 \pm 0,9$  % ( $p < 0,05$  относительно студентов 1 и 2 курсов), что сообщает об увеличении доли активности вазомоторных и волн в регуляции сердечного ритма и относительном преобладании симпатического отдела ВНС.

Показатель HF, который показывает вагусную активность и отражает показатель мощности дыхательных волн сердечного ритма, у первокурсников в состоянии покоя находился на уровне  $521,2 \pm 10,2$  мс<sup>2</sup> (рис 43В), у испытуемых 2 курса –  $483,3 \pm 10,4$  мс<sup>2</sup>, среди студентов 3 курса –  $400,2 \pm 10,8$  мс<sup>2</sup>. Относительное значение этого показателя у студентов 1 курса составило  $31,1 \pm 0,8$  % (рис 44В) в состоянии покоя, у 2 курса –  $28,99 \pm 0,8$  %, у 3 курса –  $24,1 \pm 0,7$  % ( $p < 0,05$  для всех параметров), что дополнительно указывает на снижение доли парасимпатической регуляции.

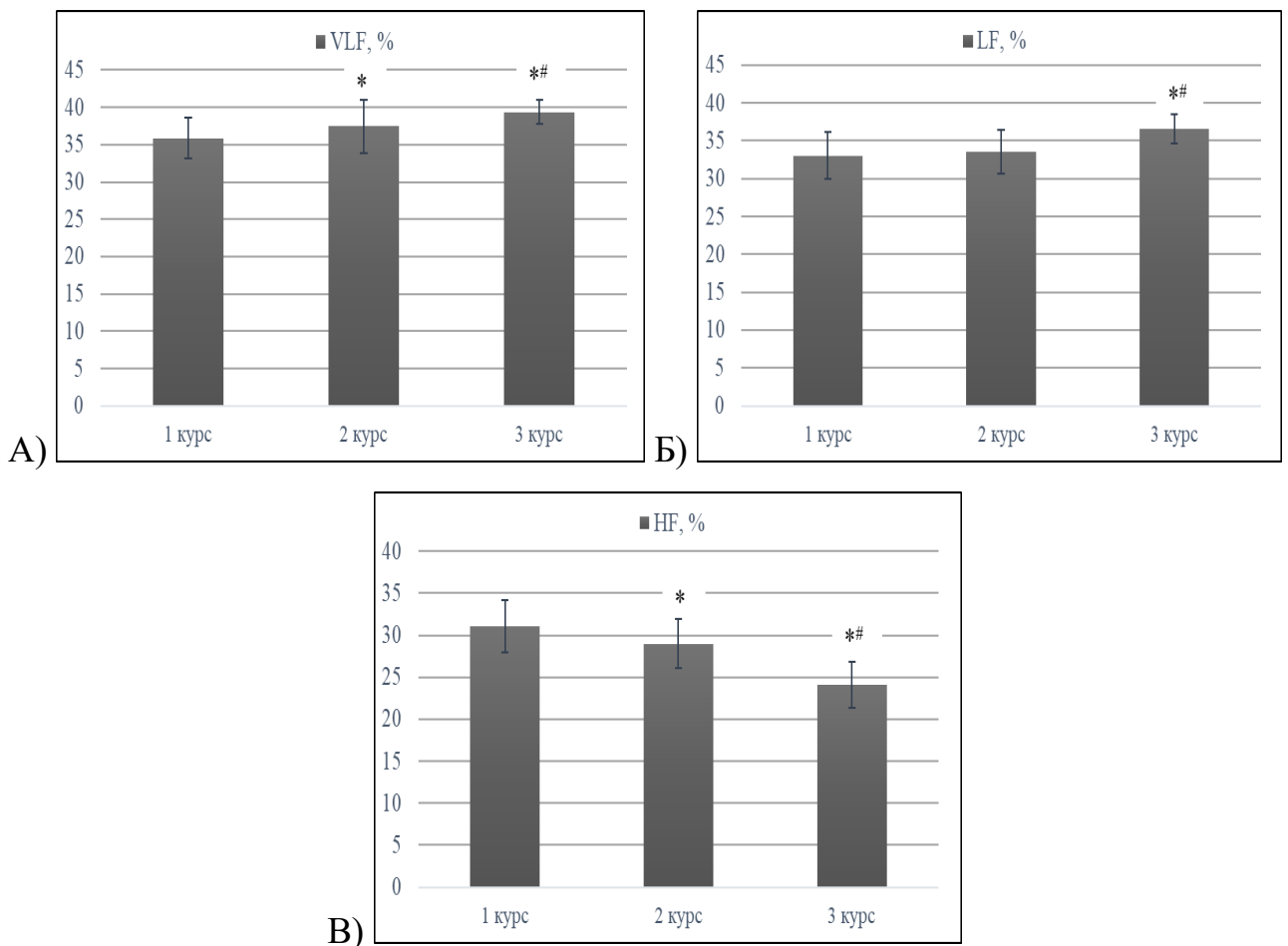


Рисунок 44 – Относительное значение мощности спектра в области очень низких частот (А), низких частот (Б) и высоких частот (В) у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя по данным прибора «MedicalSoft»

Индекс стресса у студентов 1 курса в состоянии покоя находился на уровне  $89,4 \pm 9,2$  усл. ед., 2 курса –  $102,6 \pm 9,3$  усл. ед., у 3 курса –  $154,7 \pm 9,4$  усл. ед. (рис 43Г,  $p < 0,05$  для всех показателей). Следует заметить изменение параметра в сторону увеличения в зависимости от курса, что может коррелировать с параметрами спектрального анализа ВСР и гемодинамическими индикаторами, следовательно, указывая на сдвиг в сторону верхней границы норматива (200 усл. ед.), характеризующего начальную стадию дистресса.

Таким образом, анализ результатов исследования гемодинамики с помощью программного комплекса в состоянии физиологического покоя выявил в среднем сопоставимые с физиологическими нормативами гемодинамические параметры и показатели, характеризующие вариабельность сердечного ритма испытуемых студентов. У всех групп студентов были выявлены случаи отклонения показателей от нормы, что показывает напряжение механизмов регуляции кардиоритма, уменьшение сократительной способности миокарда и снижение адаптационных резервов. Эти тенденции наиболее заметны у студентов 3 курса обучения.

#### ***4.3. Исследование окислительного метаболизма студентов различных курсов обучения***

Согласно классическим представлениям, приспособительная деятельность жизненной системы реализуется как на системном и организменном, так и на клеточном уровнях. Основной функцией физиологической адаптацией является поддержание оптимальной регуляции органов и систем организма. В тоже время одним из основополагающих механизмов являются процессы обновления клеточных структур, которое сопровождается постоянным протеканием свободнорадикальных процессов – образование активных форм кислорода, действие которых может быть неоднозначно и определяется общим состоянием организма и уровнем его антиоксидантной защиты (таблица 15).

В начале оценивался уровень тенденции биологической жидкости к свободнорадикальному окислению по спонтанному свечению с применением метода биохемилюминесценции, который основан на регистрации хемилюминесценции биологического материала – свечения, возникающего при взаимодействии радикалов.

Таблица 15

Результаты исследования окислительного метаболизма у студентов 1-3 курсов в состоянии физиологического покоя (n=438), М±m

Параметр	Группа студентов			P<0,05
	Студенты 1 курса (n= 152)	Студенты 2 курса (n= 147)	Студенты 3 курса (n= 139)	
I <sub>max</sub> , МВ	1,08±0,3	1,21±0,4	1,42±0,3	1-2; 1-3; 2-3
1/S	0,064±0,002	0,058±0,003	0,057±0,003	1-2; 1-3
МДА <sub>эп</sub> , нмоль/мл	6,13±0,8	6,39±0,7	6,59±0,9	1-2; 1-3
МДА <sub>пл</sub> , нмоль/мл	1,4±0,1	1,4±0,2	1,6±0,1	1-3; 2-3
СОД, ед. ак./г НВ	138,6±3,1	130,9±3,4	115,4±3,2*	1-2; 1-3; 2-3
Каталаза, ед.ак./г НВ	67,3±2,8	62,0±2,7	56,8±2,4	1-2; 1-3; 2-3

*Примечание: P – достоверность отличий между группами 1, 2, 3.*

Показатели максимальной интенсивности свечения у студентов первого курса были зафиксированы на уровне 1,08±0,3 усл. ед., второго курса - 1,21±0,4, а у третьего его значения наблюдалось на 23,9 % выше относительно группы первокурсников и на 14,8 % выше второкурсников, что составило 1,42±0,3 усл. ед. (p<0,05, рис. 45А). В то же время показатель, обратный светосумме свечения, указывающий на активность антиоксидантной системы, наблюдался у студентов первого курса в уровне 0,064±0,002 усл. ед., у второкурсников и третьекурсников - на 9,4 % и 10,9 % ниже соответственно и составил 0,058±0,003 и 0,057±0,003 усл. ед. (p<0,05 по отношению студентов 1 и 2 курсов, рис. 45Б). Это позволяет сделать предположение об увеличении

интенсивности протекания свободнорадикальных процессов, а также некотором снижении активности антиоксидантной системы у студентов третьего курса.

Кроме того, оценивали концентрацию малонового диальдегида в биологической жидкости, что отражает активность процессов ПОЛ.

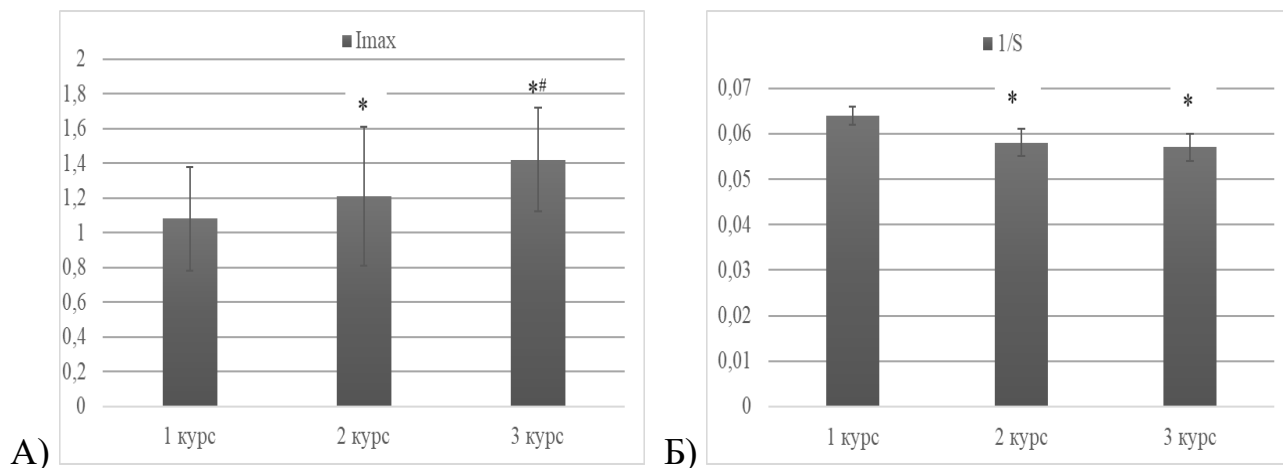


Рисунок 45 – Уровень показателей максимальной интенсивности свечения (А) и обратного параметра к светосумме (Б) у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя

У обучающихся первого курса концентрация МДА в крови составила  $6,13 \pm 0,8$  нмоль/мл, у второкурсников –  $6,39 \pm 0,7$  нмоль/мл, у студентов третьего курса –  $6,59 \pm 0,9$  нмоль/мл ( $p < 0,05$ , рис. 46А). Это может сообщать о тенденции к интенсификации действия АФК у третьекурсников. В плазме крови концентрация малонового диальдегида также имеет тенденцию к увеличению в зависимости от курса обучения. У студентов 1 курса значение МДА составило  $1,4 \pm 0,1$  нмоль/мл, у второкурсников оно аналогично показателю у студентов первого курса. При этом увеличение концентрации МДА наблюдалось у третьекурсников и составило  $1,6 \pm 0,1$  нмоль/мл ( $p < 0,05$ , рис. 46Б), что соотносится с эритроцитарным значением.

Учитывая данные о свободнорадикальном окислении, следующим шагом стало изучение активности антиоксидантной системы. В качестве маркера антиоксидантной системы были выбраны ферменты СОД и каталаза, связанные со своим селективным действием на АФК (рис. 47А, рис. 47Б).

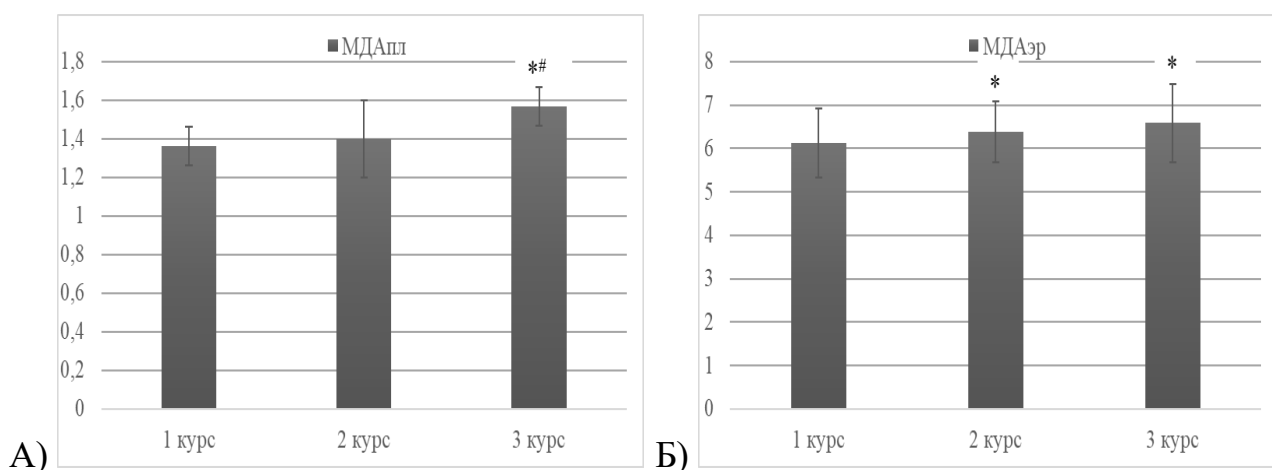


Рисунок 46 – Уровень концентрации малонового диальдегида в плазме крови (А) и эритроцитах (Б) у студентов 1-3 курса в состоянии покоя

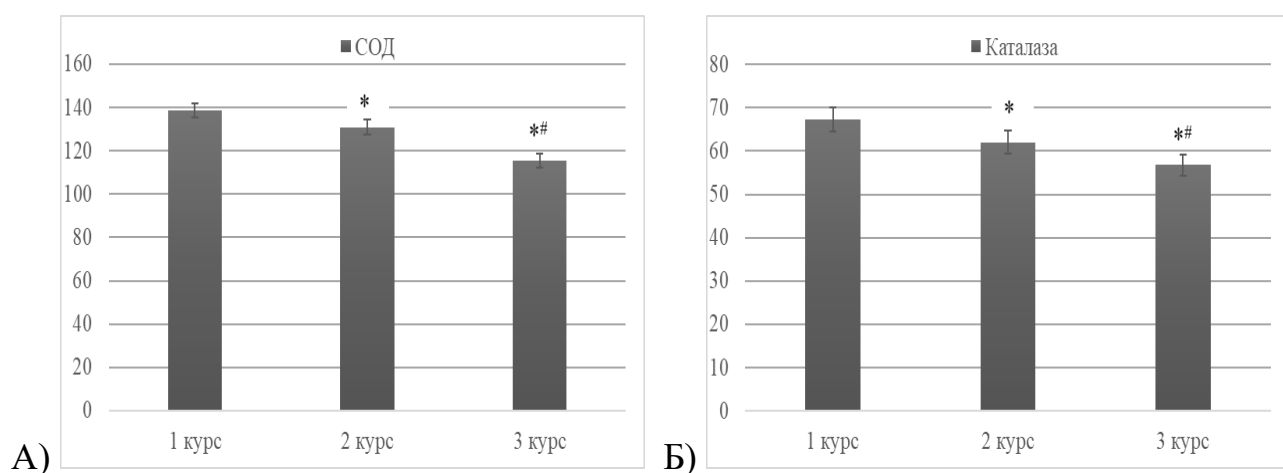


Рисунок 47 – Уровень показателей супероксиддисмутазы (А) и каталазы (Б) у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя

Результаты исследования этих параметров показали, что уровень содержания СОД у студентов 1 курса составил  $138,6 \pm 3,1$  ед. ак./г НВ, у 2 курса – снижение его активности на 5,5 % ( $130,9 \pm 3,4$  ед. ак./г НВ), а у обучающихся 3 курса – на 16,8 % ниже относительно первокурсников и на 11,9 % ниже относительно студентов второго курса соответственно ( $115,4 \pm 3,2$  ед. ак./г НВ,  $p < 0,05$  для всех показателей). Затем осуществлялась оценка каталазы, осуществляющего реакцию с пероксидом водорода и расщепляющего его до воды и кислорода. Аналогичная картина наблюдалась и в оценке указанного фермента:  $67,3 \pm 2,8$  ед. ак./г НВ наблюдалось у студентов 1 курса,  $62,0 \pm 2,7$  ед. ак./г НВ – у студентов 2 курса и  $56,8 \pm 2,4$  ед. ак./г НВ – среди студентов 3 курса



( $p < 0,05$  для всех параметров), что характеризует некоторое угнетение в активности антиоксидантной системы.

Таким образом, результаты исследования окислительного метаболизма подтверждают ранее выполненные исследования системной гемодинамики и ВСР, которые указывают на увеличение напряжения регуляторных механизмов у третьекурсников. Полученные данные характеризуют увеличение интенсивности свободнорадикального окисления среди студентов 3 курса, увеличение процессов липопероксидации и снижение работы АОС.

#### ***4.4. Оценка уровня адаптационных резервов студентов разных этапов обучения***

В предыдущих разделах работы было исследовано состояние напряжения регуляторных механизмов по показателям системной гемодинамики и вариабельности сердечного ритма, а также уровень оксидативного стресса с включением параметров биохемилюминесценции, концентрации МДА и активность антиоксидантных ферментов – СОД и каталазы в состоянии физиологического покоя, что позволило осуществить расчет функционально-метаболического параметра по ранее предложенной формуле (рис. 48).

Среди студентов 1 и 2 курсов ФМП определился в значении  $1,6 \pm 0,1$  усл. ед., что сообщает о достаточных функционально-метаболических возможностях регуляторных систем и их резерв для многокомпонентного ответа на комплекс различных факторов с экономичной тратой энергоресурсов, что позволяет купировать развитие состояния дезадаптации среди этих испытуемых. Среди студентов третьего курса показатель зафиксирован на уровне  $2,1 \pm 0,1$  усл. ед., что характеризуется как снижение функциональных резервов и напряжение регуляторных систем. Это требует дальнейшего наблюдения за данной группой студентов. ФМП аккумулировать параметры гемодинамики, ВСР и окислительного метаболизма в качестве изучения особенностей функционально-метаболических резервов организма и может рассматриваться как интегральная переменная, позволяющая получить

представление о совокупности индивидуальных признаках системной адаптации.

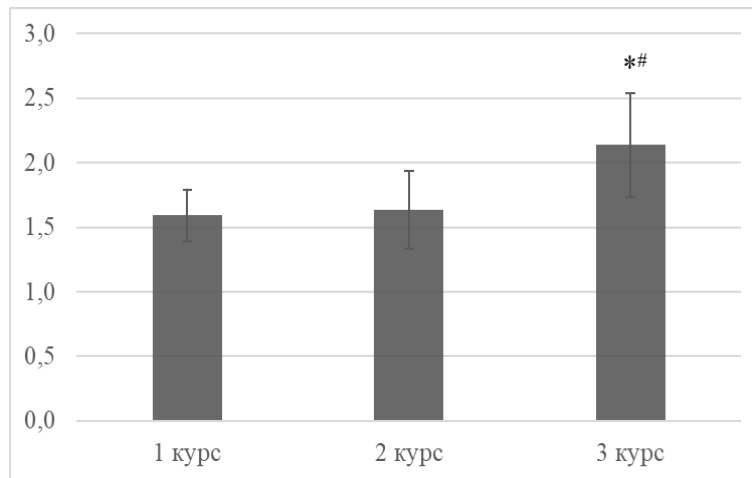


Рисунок 48 – Функционально-метаболический параметр у студентов 1-3 курсов в состоянии покоя

Исходя из выполненного исследования, большое внимание следует уделять вопросам оценки функциональных резервов и метаболического статуса организма как показателя уровня здоровья, играющего центральную роль в процессах приспособления к изменяющимся условиям окружающей среды, интенсификации учебного процесса, воздействии физических нагрузок, и восстановлении после них. Учитывая это, необходимо определять факторы риска, приводящие к дезадаптационным сдвигам, и своевременно проводить корректирующие мероприятия.

Таким образом, данный мониторинг позволяет сформировать паттерны дезадаптационных изменений в регуляторных механизмах организма в состоянии физиологического покоя. В большей степени сдвиги функционально-метаболического статуса организма превалирует среди студентов 3 курса, что может обуславливаться интенсивностью учебных нагрузок и снижением двигательной активности, регулярного наличия стрессового состояния и перенапряжением регуляторных систем.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Важнейшим направлением государственной программы Российской Федерации является укрепление здоровья студенческой молодежи в области здравоохранения и образования. Однако, состояние здоровья студентов продолжает ухудшаться вследствие не всегда правильного образа жизни, постоянно увеличивающегося объема учебных нагрузок и снижения двигательной активности [39, 83]. При этом объем теории и практики в течение учебного периода неодинаков и прогрессирует в течение всего периода обучения. Этот фактор сопряжен с высоким уровнем психоэмоционального стресса в процессе усвоения большого объема материала и обширной практической подготовкой. Отмечается, что с увеличением курса обучения наблюдается значительное снижение двигательной активности студентов из-за окончания периода обучения по дисциплине «физическая культура и спорт» [31]. В связи с вышеизложенным, важным и актуальным является объективная оценка и интерпретация функционального состояния организма, которая представляет собой одно из необходимых условий научного подхода к управлению учебно-тренировочным процессом и здоровьем студентов [5]. Изучение особенностей работы регуляторных систем можно проводить на основании анализа системной гемодинамики и вариабельности сердечного ритма, что позволяет систематизировать, на основании полученных данных, степень адаптивных возможностей организма, а на основании этого, предложить индивидуальный подход к каждому студенту в процессе занятий физическими упражнениями с учетом функционального статуса. Кроме того, у скелетной мускулатуры в процессе сокращения имеется способность значительно увеличивать потребление кислорода. Это приводит к интенсификации процессов свободнорадикального окисления, следовательно, необходимо учитывать возможность разнонаправленных изменений, связанных с вариабельностью в последовательности включения соответствующих защитных механизмов, что

ведет к исчерпанию ресурсов антиоксидантной системы, поэтому требуется анализ показателей окислительного гомеостаза при различных функциональных состояниях организма [38] как молекулярно-клеточного механизма, обеспечивающего цикличность процессов при мышечной работе, контроле активации свободнорадикальных процессов и купирование повреждения клеточных мембран [23].

Онтогенетические изменения в сердечно-сосудистой системе сопряжены с влиянием внешних факторов на организм, где одним из них является физическая тренировка, которая определяет формирование соответствующей системы кровообращения для удовлетворения метаболических потребностей организма [118]. По мнению исследователей, [45, 96, 118] одними из наиболее информативных показателей функциональных возможностей центральных структур системы кровообращения являются УО и СВ, где отмечается значительное увеличение УО в покое у тренированных людей, относительно нетренированной группы лиц. При этом важным фактором является увеличение СВ не за счет повышения ЧСС, а за счет увеличения именно УО. Это влияет на инотропный компонент регуляции сердца, возрастает сила сокращений, уменьшается ЧСС, увеличивается общая пауза сердца и сердце усиливает выброс крови за счет использования ее резервного объема и полного опорожнения желудочков [118]. Кроме этого, длительность занятий физической культурой и спортом влияет на ОПСС, которая возрастает совместно с увеличением скорости распространения пульсовой волны по аорте, также возрастает жесткость сосудистой стенки, что обуславливает механизм снижения СВ при росте физической работоспособности, а это способствует доставке кислорода к тканям меньшим количеством крови [118, 171, 215]. Это подтверждается исследованиями, где показано снижение базового сопротивления во всех сегментах конечностей при увеличении мощности нагрузки, что связано с увеличением кровенаполнения областей, где происходит усиление работы скелетной мускулатуры [96]. Кроме того, установлены особенности перестройки механизмов сердечного ритма под

влиянием физических нагрузок, где механизмы срочной адаптации зависят от индивидуальных резервов адаптации [115, 200]. Это наблюдается в динамическом изменении временных и спектральных показателей ритма сердца, усилении симпатических влияний, а также усилении централизации с одновременным угнетением автономного контура регуляции, фиксируется значительный разброс параметров ВСР [115, 205]. При этом отмечается, что усиление парасимпатических влияний на регуляцию сердечного ритма показывает созревание механизмов адаптационных резервов обучающихся [115, 124, 167].

Следует отметить и метаболические сдвиги при влиянии физических нагрузок. По мнению Корняковой В.В., выполнение физических упражнений сопровождается выраженной гиперлактацидемией, развитию лактатацидоза и интенсификации анаэробного гликолиза [Корнякова В.В. с соавт., 2015]. Вследствие этого повреждаются клеточные мембраны, что приводит к увеличению концентрации МДА, являющегося промежуточным продуктом ПОЛ [72, 247]. С усилением свободнорадикального окисления происходит развитие утомления, что влечет за собой угнетение антиоксидантных резервов, а именно – развитие дефицита активации супероксиддисмутазы, каталазы и других ферментов АОС [72].

Установлено, что воздействие нагрузочного теста в виде упражнений комплекса ГТО показало разнонаправленное реагирование сердечно-сосудистой системы испытуемых студентов на предложенную физическую нагрузку. При этом наибольшим изменениям исследуемые индикаторы были подвержены после выполнения бега на 100 метров и подтягиваний. Наблюдалось статистически значимое увеличение САД на 20,6 % после бега и на 19,5 % после подтягиваний относительно состояния физиологического покоя; ЧСС – на 87,7 % и 82,2 %; УО – на 50,7 % и 43,3 %; СВ – на 180,8 % и 159,6 %; СИ – на 185,2 % и 162,9 %; LVSW – на 74,7 % и 78,9 %; LF/HF – на 268,8 % и 287,5 %; VLF (%) – на 18,4 % и 17,9 %; LF (%) – на 39,6 % и 40,5 %, а SI – на 326,1 % и 341,5 %. В тоже время после выполнения вышеуказанных

упражнений отмечалось статистически значимое снижение ОПСС на 60,3 % после бега и на 57,3 % после подтягиваний;  $pNN50$  – на 46,9 % и 42,3 %;  $SDNN$  – на 34,5 % и 32,1 %;  $TP$  – на 43,5 % и 45,2 %;  $HF$  (%) – на 64,1 % и 64,4 % соответственно. Таким образом, упражнения комплекса ГТО способствуют мобилизации регуляторных систем для системной адаптации организма к физическим нагрузкам. Кроме того, зафиксировано усиление свободнорадикального окисления по показателю  $I_{max}$  (увеличение на 41,5 % после бега и 51,2 % после подтягиваний относительно состояния физиологического покоя и при наблюдении за показателем  $1/S$  биохемилюминесценции (уменьшение на 32,1 % после бега и на 30,4 % после подтягиваний относительно состояния физиологического покоя. Также отмечается увеличение маркера оксидативного стресса – МДА, в эритроцитах и плазме, после выполнения нагрузочных тестов (увеличение на 14,8 %/15,8 % в эритроцитах, и на 21,1 %/28,6 % в плазме). В тоже время, наблюдается умеренное ингибирование активности ферментов антиоксидантной системы: СОД снизился на 11,2 % после бега и на 14,4 % после подтягиваний; а активность каталазы уменьшилась на 1 % после бега и на 12,1 % после подтягиваний соответственно, что указывает на относительный дисбаланс ПОЛ-АОС. При расчете ФМП установлено статистически значимое его увеличение на 44,4 % после бега и на 50 % после подтягиваний. Выявленные сдвиги сообщают о выраженном напряжении регуляторных систем организма после воздействия вышеуказанных физических нагрузок, что позволяет говорить о целесообразности использования бега на 100 метров и подтягиваний из виса на перекладине в качестве тестовых упражнений для оценки адаптационного потенциала и метаболизма. В ходе определения кластеров по реакции организма на физическую нагрузку, представители 1 кластера наблюдается умеренная симпатикотония и централизация регуляции ритма сердца, угнетение активности автономного контура, сопровождающееся физиологическим увеличением УО и ЧСС и снижением ОПСС для поддержания оптимального уровня артериального давления, что

сопровождается с активацией вазомоторного центра в процессе экстренной мобилизации организма и умеренным напряжением его регуляторных систем. Среди студентов 2 кластера отмечается рост ЧСС, неоднородные колебания УО, сохранение централизации сердечного ритма по показателям ВСР. У студентов 3 кластера можно отметить выраженное преобладание активности симпатической нервной системы, резкое увеличение активности центрального контура регуляции вегетативных функций. Это проявляется в значительном снижении статистических параметров ВСР, преобладании вазомоторных волн и резком уменьшении общей мощности спектра, высокое значение ЧСС, наличие вазоконстрикции сосудов по показателю ОПСС и резкий рост артериального давления.

Также следует учитывать и особенности функционального состояния ССС в постнагрузочном периоде, что позволяет получить представление об особенностях адаптации в течение восстановительного цикла. Так, по показателю САД 74,3 % студентов показали оптимальные процессы восстановления, а у 25,7 % наблюдались скачки АД; при анализе ДАД – 91,4 %/8,6 % соответственно, по показателю ЧСС – 67,1 %/32,9 %; при анализе параметра УО – 67,1 %/32,9 %; СВ – 88,6 %/11,4 %; СИ – 88,6 %/11,4 %; во время изучения ОПСС – 75,7 %/24,3 %; при исследовании временных показателей ВСР (pNN50 и SDNN) – 67,1 %/32,9 % и 68,6 %/31,4 % соответственно; по спектральным показателям ВСР (LF, HF, VLF, TP) – 70,0 %/30,0 %, 67,1 %/32,9 % и 82,9 %/17,1 %, что указывает на угнетение автономного контура регуляции кардиоритма и сохранению централизации сердечного ритма. При мониторинге индекса вегетативного равновесия (LF/HF) в условиях высокой адаптации находились 67,1 %, а у 32,9 % зафиксировано сильное преобладание активности симпатикотонии. По параметру SI удовлетворительная адаптация наблюдается среди 52,9 % обучающихся, а у 47,1 % испытуемых значение индикатора приближалось к пограничному значению 500 усл. ед. (после выполнения бега на 100 метров и подтягиваний), что характеризуется значительным влиянием этих стресс-факторов. Также

наблюдались испытуемые, у которых адаптивные реакции на нагрузочный тест отражались в увеличении параметра ЧСС при незначительном изменении УО и ОПСС, следовательно, отмечались резкие сдвиги САД. В тоже время у них превалировал высокий уровень  $rNN50$ , который характеризовал тенденцию к аритмогенным событиям, а высокое значение  $SI$  сообщало о риске появления донозологического состояния.

При проведении кластерного анализа в постнагрузочном периоде были выделены 3 кластера обучающихся. Из 70 человек 51,4 % вошли в 1 кластер, 15,7 % - во второй, а 32,9 % оказались представителями 3 кластера. Среди студентов 1 кластера отмечается быстрое восстановление ЧСС до уровня нормативных значений, что сопровождается стабилизацией ОПСС и нормальным значением АД, а при исследовании ВСР наблюдается соразмерный вклад центрального и автономного уровней регуляции с наличием оптимальной вегетативной реактивности, и это можно рассматривать как оптимальный уровень адаптационных резервов. У представителей второго кластера сохраняются разнонаправленные изменения параметров практически у половины испытуемых, что обуславливается неоптимальным темпом восстановления физиологических функций организма в постнагрузочном периоде, и позволяет интерпретировать их функциональные резервы на границе адаптации/дезадаптации. Среди обучающихся 3 кластера наблюдается усиление централизации сердечного ритма, уменьшение общей мощности спектра и сохранением преобладания симпатикотонических влияний, сохраняются высокие значения ЧСС и ОПСС, приводящих к усилению спазма сосудов и увеличению АД, это позволяет сделать вывод о затруднении процессов восстановления и снижении адаптационных резервов среди этой группы.

Показано, что доля студентов с наличием дезадаптационных сдвигов в течение периода восстановления увеличивается относительно состояния до выполнения нагрузочного комплекса. Это отражает недостаточную способность к адаптивной перестройке организма у представителей 3 кластера, и частично 2 кластера, что позволяет сделать вывод о необходимости



индивидуального наблюдения за ними и возможной коррекции физической активности.

При изучении реактивности гемодинамики студентов использовали визуализацию параметров в виде парных диаграмм, имеющих разное физиологическое значение. Каждую парную диаграмму разделили на обучающихся 1 и 2 курсов и студентов 3 курса. Представленные пары показателей: ЧСС-pNN50, УО-ОПСС, TP-LF/HF, TP-pNN50. Исходя из полученных данных установлено, что дезадаптационных сдвиги преобладают среди студентов 3 курса, где практически половина тестируемых студентов этой группы находилась в зоне дезадаптации. Для сравнения, в группе обучающихся 1 и 2 курсов доля лиц с низкими адаптационными резервами составила в среднем около 15 %, а в группе студентов 3 курса – около 42 %. Характер этих изменений позволяет дифференцировать тип гемодинамического ответа и особенности систем регуляции на основании визуализации полученных данных, и обосновывает достаточную эффективность применения данных параметров в качестве выявления их взаимосвязи. В частности, рекомендуется использование пары «ударный объем-общее периферическое сосудистое сопротивление» как показателей, характеризующих насосную функцию сердца и тонус сосудов, и пары «общая мощность спектра-параметр pNN50», показывающих особенности вегетативной регуляции со стороны временных и спектральных составляющих ВСР. Таким образом, использование представленных пар показателей углубляет знания об адаптационных резервах при проведении профессионального отбора среди различных групп студентов. Кроме того, полученные данные особенности гемодинамических и вегетативных функций обосновывают необходимость массового скрининга студенческой молодежи с учетом их продолжительности обучения.

Характер этих изменений исследуемых показателей продемонстрировал разнонаправленные механизмы срочной адаптации на физическую нагрузку среди студентов экспериментальной группы. Установлено, что бег на 100 метров и подтягивания из виса на перекладине оказывают наиболее значимый

эффект при оценке функционально-метаболического статуса. Кроме того, с учетом участия обучающихся на данном этапе исследования, имеющих основную группу для занятий физической культурой, установлено, что при изучении восстановительных процессов организма присутствует тенденция к возможному развитию донологического состояния у доли студентов. Следовательно, необходимо проводить тестирование функциональных резервов организма не только в состоянии покоя, но и под влиянием стресс-факторов, а именно – физических упражнений. Выявленные сдвиги позволяют своевременно скорректировать физические нагрузки в процессе обучения, в том числе – при планировании физической активности студенческой молодежи.

В тоже время, для верификации предложенного уравнения при расчете ФМП, создана корреляционно-регрессионная модель для оценки взаимосвязей параметров системной гемодинамики, ВСР и окислительного метаболизма. При выполнении корреляционного анализа зафиксированы положительные корреляционные связи ощутимой и высокой силы между параметрами окислительного метаболизма  $I_{\max}$ -МДА ( $r=0,68$ ), СОД-МДА ( $r=0,64$ ), МДА-каталаза ( $r=0,59$ ), между парами  $1/S$ - $I_{\max}$  ( $r=0,85$ ), СОД-каталаза ( $r=0,87$ ), МДА- $I_{\max}$  ( $r=0,72$ ), а обратная умеренная корреляционная зависимость наблюдалась у пар  $1/S$ -СОД ( $r=-0,48$ ) и каталазой ( $r=-0,42$ ),  $1/S$ -SI ( $r=-0,46$ ), что следует учитывать при анализе метаболического статуса. В параметрах гемодинамики и ВСР положительные умеренные связи определены между УО-LVSW ( $r=0,69$ ), высокие – между парами параметров ЧСС-LF/HF ( $r=0,81$ ), ЧСС-SI ( $r=0,76$ ), pNN50-SI ( $r=0,83$ ), а весьма высокие – между pNN50-SDNN ( $r=0,94$ ) и LF/HF-SI ( $r=0,91$ ). Умеренная отрицательная корреляционная связь обнаружена между ЧСС и TP ( $r=-0,42$ ), ОПСС-TP ( $r=-0,53$ ), TP и LF/HF ( $r=-0,47$ ), а ощутимая – между SDNN и SI ( $r=-0,67$ ). Сильная обратная взаимосвязь обнаружена между ЧСС и SDNN ( $r=-0,87$ ), pNN50 и LF/HF ( $r=-0,79$ ), между LF/HF и SDNN ( $r=-0,84$ ), а весьма сильная выявлена у пары показателей pNN50-SDNN ( $r=-0,92$ ). Также исследована взаимосвязь между результирующей переменной (ФМП) и каждым фактором, влияющим на нее.

Умеренная положительная взаимосвязь обнаружена между функционально-метаболическим параметром и каталазой ( $r=0,41$ ), осязаемая – между ФМП и  $1/S$  ( $r=0,57$ ), ФМП и СОД ( $r=0,64$ ), ФМП и  $I_{max}$  ( $r=0,6$ ), ФМП и ОПСС ( $r=0,61$ ). Сильные взаимосвязи наблюдались между парами параметров ФМП-МДА ( $r=0,77$ ), ФМП-ЧСС ( $r=0,78$ ), ФМП-pNN50 ( $r=0,86$ ). В том числе существуют обратная осязаемая корреляционная зависимость между ФМП и УО ( $r=-0,59$ ), ФМП и TP ( $r=-0,67$ ).

Затем проводился регрессионный анализ с целью построения модели с уровнем надежности не менее 95 % для оценки достоверности сформированной формулы расчета ФМП. Из уравнения были исключены каталаза, SDNN, SI, LVSW, LF/HF из-за высокой мультиколлинеарности между ними. Коэффициент детерминации полученной модели равен 0,8155, что говорит о соотношении уравнения к полученной модели на 81,5 %, среднее и максимальное значения модельной ошибки были равны 3,5 % и 4,4 % соответственно. В тоже время минимальное значение остатков сообщает наличие минимальной разности между наблюдаемым значением независимой переменной и его предсказанным показателем, что подтверждает достаточную валидность модели. Следовательно, формула для расчета ФМП позволяет использовать этот критерий в качестве интегрального значения уровня адаптационных резервов организма студентов и его функционально-метаболического статуса.

На последующем этапе, при выполнении оценки гемодинамических индикаторов с помощью ручного расчета по формулам Мостеллера, Хикема, Старра, Пуазейля [59, 120, 123], осуществлялся мониторинг адаптационных резервов большого контингента студентов. Расчеты осуществлялись с использованием показателей АД, ЧСС, возраста, длины и массы тела. Студенты дифференцировались по курсам обучения, где среди обучающихся 1 и 2 годов обучения практически не наблюдались осязаемые различия в исследуемых показателях. Среди студентов 3 курса были выявлены статистически значимые тенденции к сдвигам гемодинамических значений в сторону напряжения механизмов регуляции. Уровень САД у студентов 3 курса был достоверно

выше значений первокурсников и второкурсников на 6,4 % и 5,3 % соответственно, а показатели ДАД были практически идентичными. При изучении ЧСС установлено, что данный параметр у третьекурсников увеличился на 9,5 % относительно обучающихся первого курса, и на 10,4 % в сравнении со студентами второго курса. При этом сдвиг показателя в сторону верхней границы допустимой физиологической нормы наблюдался преимущественно у студентов 3 курса, а у некоторых испытуемых этой группы он выходил за верхний диапазон. При анализе УО установлено, что в состоянии физиологического покоя он был достоверно ниже у студентов 3 курса на 10,9 % относительно первокурсников и на 16,5 % относительно второкурсников. В тоже время предполагается, что значение СВ достигалось за счет более высокого уровня ЧСС у студентов 3 курса, что может иметь компенсаторное значение. При этом, значение ОПСС у них было на 5,5 % выше чем у студентов 1 курса и на 9,6 % - уровня второкурсников. В том числе был определен СИ: у студентов 1 и 2 курсов его значение зафиксировано выше, относительно студентов 3 курса (на 7,2 % и 13,4 % соответственно). Рассчитанное значение АП соответствует уровню удовлетворительной адаптации у всех групп студентов, однако у третьекурсников наблюдается тенденция к напряжению механизмов адаптации (2,5 усл. ед.). Таким образом, с учетом показателей гемодинамики и ВСР, наблюдается снижение адаптационных резервов у представителей 3 курса.

При проведении тестирования студентов разных курсов в состоянии физиологического покоя с применением системы спортивного тестирования «MedicalSoft» установлено, что гемодинамические индексы и статистические и спектральные параметры ВСР находятся в пределах физиологически допустимого диапазона, при этом у студентов 3 курса наблюдается статистически значимые отличия изучаемых индикаторов, аналогично результатам тонометрического способа. Установлено статистическое значимое увеличение гемодинамических параметров САД на 5,8 % и 4,9 %, ЧСС на 12,7 % и 10,6 %, ОПСС на 5,5 % и 9,6 %, а также снижение УО на 9,9 % и 14 %, СИ

на 7,2% и 13,4 % и LVSW на 5,4 % и 6,6 % в сравнении с обучающимися первого и второго курсов. При изучении статистических показателей ВСР отмечается снижение времени разброса кардиоинтервалов, в частности, рNN50 и SDNN у третьекурсников значимо ниже относительно данных обучающихся 1 и 2 курсов на 24 %/11,1 % и 32,6 %/17 %. Наблюдение за спектральными параметрами ВСР показало снижение уровня TP у студентов 3 курса на 0,9 % относительно обучающихся 1 курса и на 0,4 % относительно студентов 2 курса, относительного значения HF на 22,5 % и 16,4 %. Кроме того, у них наблюдается увеличение LF/HF на 38,5 % и 30,8%, относительных значений LF и VLF – на 9,6 %/8,2 % и на 8,4 %/4,6 %, а также выраженное усиление уровня индекса стресса на 43,2 % в сравнении с группой первокурсников и на 32,7 % по отношению к студентам 2 курса. Помимо вышеуказанного, наблюдалось изменения метаболического статуса у исследуемых лиц. Отмечается снижение уровня показателей 1/S на 10,9 %/9,4 %, активности ферментов антиоксидантной защиты СОД на 16,8 %/11,9 % и каталазы на 15,6 %/9,4 % у студентов 3 курса в сравнении с обучающимися 1 и 2 курсов. Помимо этого, у них наблюдается увеличение I<sub>max</sub> на 23,9 %/10,8 %, МДА в эритроцитах – на 4,1 %/7 % относительно первокурсников и второкурсников и в плазме – на 12,5 % в сравнении с обучающимися 1 курса. При калькуляции ФМП сформировалась картина, сообщающая о снижении функциональных резервов организма у студентов 3 курса, у которых интегральный параметр наблюдался на 31,3 % выше, относительно обучающихся 1 и 2 годов обучения. В целом, комплексная функционально-метаболическая оценка резервов адаптации позволяет сформировать паттерны разнонаправленных изменений в механизмах регуляции организма студентов в состоянии физиологического покоя. В большей степени сдвиги в сторону снижения потенциала системной гемодинамики, напряжения регуляторных систем и усилением свободнорадикального окисления превалирует среди студентов 3 курса. Это может быть обусловлено увеличением интенсивности учебных нагрузок, снижением двигательной активности, неоптимальным распределением режима

труда и отдыха, что приводит к преобладанию симпатического отдела ВНС, наличию стрессового состояния, истощению мобилизационных ресурсов организма и психоэмоциональному перенапряжению у данного контингента испытуемых.

Полученные данные свидетельствуют о различных особенностях состояния адапционных резервов организма студентов 1-3 курсов обучения. Предполагаемая схема функционально-метаболического ответа на воздействие факторов образовательной среды представлена на рисунке 9.

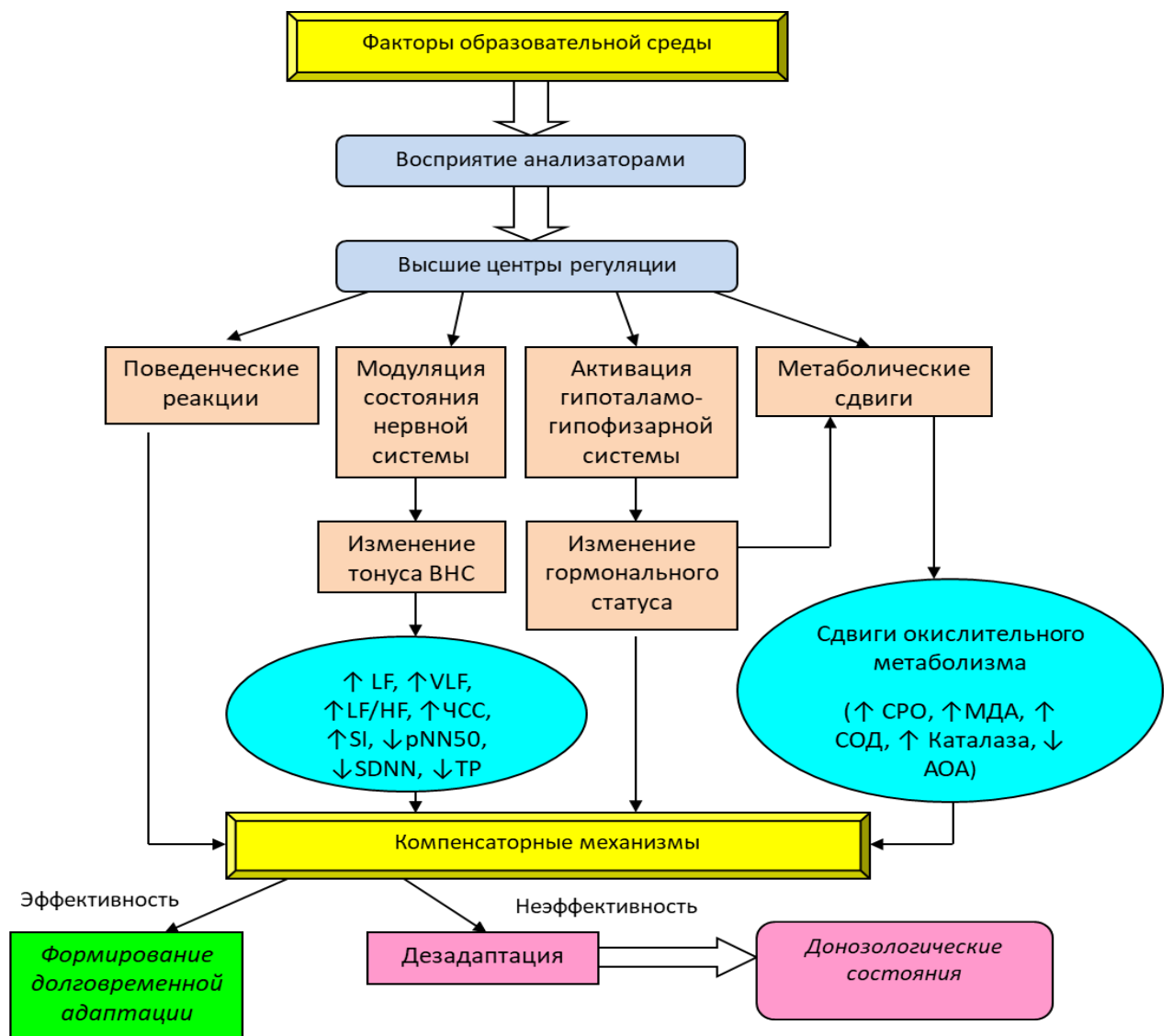


Рисунок 49 – Интегральная схема регуляции функционального состояния организма в условиях адаптации к факторам образовательной среды

Особенности функционально-метаболического статуса студентов разных курсов обучения в совокупности с оценкой системного ответа организма на стандартную физическую нагрузку, анализ темпов восстановления сердечно-сосудистой системы в постнагрузочном периоде и объединение полученных данных в интегральную оценку позволяет предложить новый метод для интерпретации степени реакции организма на различные воздействия, получения представления о совокупности индивидуальных признаков системной адаптации функций организма, и открывает перспективы дальнейших научных исследований в области особенностей адаптационных резервов. Кроме того, представляет интерес для изучения лиц женского пола, обучающихся в образовательных организациях высшего образования. Это позволит дополнить теоретические знания об особенностях функционального состояния организма студентов и улучшить технологию интегральной оценки.

## ВЫВОДЫ

1. Выявлено, что характер гемодинамического ответа на стандартную физическую нагрузку зависит от ее вида и интенсивности. Наиболее существенную реакцию вызывают бег на 100 м и подтягивание на перекладине. После выполнения нагрузочного комплекса выделено 3 группы испытуемых, где в первой группе наблюдается умеренная симпатикотония и централизация сердечного ритма, физиологическое увеличение УО и ЧСС, а также снижение ОПСС, во второй – рост ЧСС, разнонаправленные колебания УО, сохранение центрального контура регуляции, а в третьей – выраженное преобладание симпатической регуляции, резкое увеличение активности центрального контура регуляции, снижение общей мощности спектра, выраженное увеличение ЧСС и вазоконстрикция сосудов по показателю ОПСС, значительное увеличение АД.

2. Кластерный анализ по параметрам гемодинамики и показателям variability сердечного ритма позволяет выделить 3 группы студентов в постнагрузочном периоде, по реакции на физическую нагрузку и уровня их функциональных резервов. Студенты 1 кластера характеризуются высокими резервами адаптации организма, обучающиеся 2 кластера находятся в пограничном состоянии адаптации/дезадаптации по параметрам гемодинамики и variability сердечного ритма, тогда как представители 3 кластера имеют нарушение восстановительных процессов, что свидетельствует о наличии у них сниженных адаптационных резервов.

3. Применение двумерного анализа (по парам показателей системной гемодинамики и variability кардиоритма) позволяет выделить типы гемодинамического ответа на стандартную физическую нагрузку (адаптивный или дезадаптивный). Наиболее информативными являются пары «ударный объем – общее периферическое сопротивление сосудов» и «параметр  $p_{NN50}$  – общая мощность спектра». Эти комбинации рекомендуются для функционального тестирования адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы.



4. Метаболический ответ на физические нагрузки высокой интенсивности (бег на дистанцию 100 м и подтягивания из виса на перекладине) увеличивает интенсификацию свободнорадикальных процессов, снижение общей антиоксидантной активности плазмы крови и умеренное ингибирование каталитических свойств каталазы и супероксиддисмутазы.

5. Функционально-метаболический показатель, рассчитанный на основе корреляционно-регрессионного анализа, интегрируя наиболее информативные показатели гемодинамики (частота сердечных сокращений, ударный объем, общее периферическое сопротивление, общая мощность спектра и показатель  $pNN50$ ) и баланса про- и антиоксидантных систем (интенсивность свободнорадикальных процессов, общая антиоксидантная активность, активность супероксиддисмутазы и концентрация малонового диальдегида в плазме крови), позволяет оценить характер ответа на стандартную физическую нагрузку.

6. Установлено, что студенты 3 курса, относительно испытуемых 1 и 2 курсов, имеют сниженные адаптационные резервы сердечно-сосудистой системы (по уровню артериального давления, параметрам, характеризующим насосную функцию сердца, а также вариабельности кардиоритма), окислительного метаболизма (по параметрам Fe-индуцированной биохемилюминесценции и активности антиоксидантных ферментов), и изменению интегрального функционально-метаболического параметра.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ВНС – вегетативная нервная система
- ССС – сердечно-сосудистая система
- АД – артериальное давление
- ВСР – вариабельность сердечного ритма
- САД – систолическое артериальное давление
- ДАД – диастолическое артериальное давление
- ЧСС – частота сердечных сокращений
- УО – ударный объем
- СВ – сердечный выброс
- ОПСС – общее периферическое сосудистое сопротивление
- pNN50 - соотношение NN-интервалов, которые отличаются на 50 мсек и более
- SDNN – стандартное отклонение средних интервалов NN
- СИ – сердечный индекс
- LVSW – ударная работа левого желудочка
- LF/HF - отношение значений низкочастотного и высокочастотного компонентов вариабельности сердечного ритма
- TP – общая мощность спектра
- LF – мощность спектра кардиоритма в области низких частот
- HF – мощность спектра кардиоритма в области высоких частот
- VLF – мощность спектра кардиоритма в области очень низких частот
- SI – степень напряжения регуляторных систем, индекс стресса
- ГТО – физкультурно-спортивный комплекс «Готов к труду и обороне»
- АОС – антиоксидантная система
- АФК – активные формы кислорода
- ПОЛ – перекисное окисление липидов
- СОД – супероксиддисмутаза
- МДА – малоновый диальдегид
- ХЛ - хемилюминесценция
- 1/S – обратный показатель светосуммы хемилюминесценции
- I<sub>max</sub> – максимальная интенсивность свечения хемилюменсценции
- ФМП – функционально-метаболический параметр

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Агаджанян Н.А. Физиология человека / Н.А. Агаджанян, Л.З. Тель, В.И. Циркин, С.А. Чеснокова. – Н. Новгород: М.:Медицинская книга. НГМА, 2003. – 528 с.
2. Александров А.А. Профилактика сердечно-сосудистых заболеваний в молодом возрасте / А.А. Александров. – М.: Медицина, 2016. – 80 с.
3. Алексина Л.А. Методы комплексного корреляционно-регрессионного анализа функционального состояния систем организма / Л.А. Алексина, М.В. Дементьев, К.С. Катинас, А.В. Сорокин, С.М. Чибисов // Ученые записки СББГМУ им. И.П. Павлова. – 2011. – Т. 18. – № 3. – С. 72-75.
4. Амиров Л.Г. К механизму адаптации сердца к физическим нагрузкам / Л.Г. Амиров, Р.А. Юсупов // Тез. докл. XVIII съезда физиологического сообщества, им. И.П.Павлова. – Казань. – 2001. – С. 485-487.
5. Андрющенко Л. Б. Диагностика функционального состояния населения разных возрастных групп на основе методики «ESTЕК SYSTEM COMPLEX» / Л. Б. Андрющенко, И.М. Бодров, И.А. Зайцев // Теория и практика физической культуры. – 2018. – № 9. – С. 16-18.
6. Апоян С.А. Особенности организации занятий физической культурой и спортом в медицинском университете / С.А. Апоян, М.С. Гурьянов, И.Д. Пузанков // Актуальные проблемы управления здоровьем населения. – 2020. – С. 324-327.
7. Артюхова Т.Ю. Учебная деятельность как фактор возникновения стресса у студентов / Т.Ю. Артюхова, Т.И. Петрова, О.А. Бенькова, Е.П. Федорова // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева. – 2020. – № 2 (52). – С. 145-155.
8. Арутюнов Г.П. Эффективность физических тренировок как составляющей части реабилитации больных после перенесённого инфаркта миокарда / Г.П. Арутюнов, Е.А. Колесникова, А.К. Рылова // Сердце. – 2009. – № 8 (2). – С. 73–77.

9. Астахов А.А. Медленноволновые процессы гемодинамики как новое перспективное направление мониторинга в анестезиологии и реаниматологии / А.А. Астахов. Сб. науч. тр. II научно-практической конференции. – Челябинск: АТМН. – 2000. – С. 224.

10. Баевский Р.М. Использование принципов донозологической диагностики для оценки функционального состояния организма при стрессорных воздействиях (на примере водителей автобусов) / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева, Е.Ю. Берсенов, А.К. Ешманова // Физиология человека. 2009. – Т. 35. – № 1. – С. 41-51.

11. Баевский Р. М. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения. Новые методы электрокардиографии / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов; под ред. С. В. Грачева, А. Л. Сыркина. – Москва: Техносфера. – 2007. – С. 474-496.

12. Баранов В.М. Оценка адаптационных возможностей организма и задачи повышения эффективности здравоохранения / В.М. Баранов, Р.М. Баевский, А.П. Берсенева, В.М. Михайлов // Экология человека. – 2004. – № 6. – С. 25-29.

13. Баранов С.Н. Физическая нагрузка как регуляторный фактор психологического благополучия индивида / С.Н. Баранов // Интерактивная наука. – 2017. – № 12 (22). – С. 34-36.

14. Баранова Т.И. Физиологические основы физического воспитания: учебное пособие для институтов физической культуры. Тема № 3 / Т.И. Баранова. – Санкт Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета, 2012. – 35 с.

15. Белкания Г.С. Антропофизиологический подход в диагностической оценке состояния сердечно-сосудистой системы / Г.С. Белкания, Л.Р. Диленян, А.С. Багрий, Д.С. Рыжаков, Л.Г. Пухальская // Медицинский альманах. – 2013. – № 4 (28). – С. 108-114.

16. Бокерия Л.А., Бузинашвили Ю.И. Чреспищеводная эхокардиография в коронарной хирургии / Л.А. Бокерия. – М., 1999. – 116 с.

17. Бреслав И.С. Дыхание и мышечная активность человека в спорте. Руководство для изучающих физиологию человека / И.С. Бреслав. – М.: Советский спорт, 2013. – 364 с.
18. Брюханов А.Л. Каталаза и супероксиддисмутаза: распределение, свойства и физиологическая роль в клетках строгих анаэробов / А.Л. Брюханов, А.И. Нетрусов // Биохимия. – 2004. – Т.69. – Вып. 3. – С. 1170-1186.
19. Буеверов А.О. Оксидативный стресс и его роль в повреждении печени / А.О. Буеверов // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. – 2002. – Т. 12. – №. 4. – С. 21-25.
20. Буйлов С.П. Изучение влияния 105-суточной изоляции в гермообъеме на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы испытуемых-добровольцев / С.П. Буйлов, Ю.И. Воронков, М.А. Скедина, Г.П. Степанова // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2010. – Т. 44. – № 4. – С. 27-30.
21. Варенцова И.А. Сезонное изменение психофункционального состояния студентов с разным типом вегетативной регуляции сердечного ритма / И.А. Варенцова, В.Н. Чеснокова, Л.В. Соколова // Экология человека. – 2011. – № 2. – С. 47-52.
22. Васильева Е.И. Сердечно-сосудистая система: анатомо-физиологические особенности, методы исследования и семиотика основных поражений: учебно-методическое пособие / Е.И. Васильева. – Иркутск: ИГМУ, 2012. – 28с.
23. Величко Т.И. Свободнорадикальные процессы и возможное проявление оксидативного стресса в условиях физических нагрузок / Т.И. Величко // Вестник Волжского университета им. В.М. Татищева. – 2015. – № 4 (19). – С. 286-293.
24. Владимирова Ю.А., Проскурнина Е.В. Свободные радикалы и клеточная хемиллюминесценция / Ю.А. Владимирова // Успехи биологической химии. – 2009. – Т. 49. – С. 341–88.

25. Витрук С. К. Пособие по функциональным методам исследования сердечно-сосудистой системы: учебное пособие / С.К. Витрук. – Москва: ИЛ, 2015. – 224 с.
26. Воронов Н.А. Физическая культура как компонент здорового образа жизни человека в обществе / Н.А. Воронов // Интерактивная наука. – 2018. – № 8 (30). – С. 24-26.
27. Гапко Т.А., Химич Г.З. Биоритмы и состояние гемодинамики учащихся / Т.А. Гапко, Г.З. Химич // Альманах. Новые исследования. – 2004. – № 1-2. – С. 123-124.
28. Гапон Л.И. Хроноструктура артериального давления и частоты сердечных сокращений в зависимости от сезонного ритма у больных артериальной гипертензией в Ханты-мансийском округе / Л.И. Гапко, И.М. Михайлов, Н.П. Шуркевич, Д.Г. Губин // Вестник аритмологии. – 2003. – № 31. – С. 5-9.
29. Геворкян Э.С. Психофизиологические показатели студентов при однодневной учебной нагрузке / Э.С. Геворкян, С.М. Минасян, Ц.И. Адамян, А.В. Даян, Н.Н. Ксаджикян // Альманах. Новые исследования. – 2004. – № 1-2. – С.124.
30. Гора Е.П. Состояние здоровья студентов дальнего востока / Е.П. Гора, И.А. Попова // Новые исследования. – 2004. – № 1-2. – С. 128-129.
31. Горелов А.А. К проблеме дефицита двигательной активности студенческой молодежи / А.А. Горелов, А.В. Лотоненко, О.Г. Румба // Культура физическая и здоровье. – 2011. – № 3. – С. 25-29.
32. Городниченко Э.А. Особенности восстановительных процессов после статических нагрузок нарастающей мощности / Э.А. Городниченко, Л.Г. Чалова, Г.В. Петрова // Новые исследования. – 2004. – № 1-2. – С. 133-138.
33. Горст Н.А. Индивидуальный уровень стрессированности и кардиотипы человека / Н.А. Горст, В.Р. Горст, И.О. Руденко // Вестник новых медицинских технологий. – 2004. – Т. 11. – № 1-2. – С. 9.

34. Горст Н.А. Уровень адаптации сердечно-сосудистой системы в юношеском возрасте и дисрегуляторные процессы / Н.А. Горст, В.Р. Горст, И.О. Руденко // Альманах. Новые исследования. – 2004. – № 1-2. – С. 133-134.
35. Грегор О. Как противостоять стрессу / О. Грегор. – СПб., 2002. – 864с.
36. Грицук А.Д. Периферический кровоток у юношей 18-22 лет при статических нагрузках возрастающей мощности / А.Д. Грицук, Э.А. Городниченко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2006. – Т. 1. – № 3(58). – С.60-63.
37. Гудкова Л.К. Популяционная физиология человека: Антропологические аспекты / Л.К. Гудкова. – М.: ЛКИ, 2008. – 316 с.
38. Гунина Л.М. Окислительный стресс и адаптация: метаболических аспекты влияния физических нагрузок / Л.М. Гунина // Наука в Олимпийском спорте. – 2013. – № 4. – С. 19-25.
39. Гурьянов М.С. Распространенность факторов риска хронических неинфекционных заболеваний как проблема образа жизни студентов медицинского вуза / М.С. Гурьянов, С.А. Апоян, А.Н. Поздеева // Актуальные проблемы управления здоровьем населения. – 2021. – С. 138-142.
40. Даян А.В. Вариабельность сердечного ритма школьников при экзаменационном стрессе / А.В. Даян, Э.С. Геворкян, С.М. Минасян // Альманах. Новые исследования. – 2004. – № 1-2. – С. 143-444.
41. Добровольский Г.А. Оценка состояний организма с позиции системы адаптации / Г.А. Добровольский // Новые исследования. – 2004. – № 1-2. – С. 152-160.
42. Доница Ж.А. Межсистемные взаимоотношения дыхания и кровообращения / Ж.А. Доница // Физиология человека. – 2011. – Т. 37. – № 2. – С. 117-128.
43. Дубинина Е.Е. Биологическая роль супероксидного анион-радикала и супероксиддисмутазы в тканях организма / Е.Е. Дубинина // Успехи современной биологии. – 1989. – Т. 108. – Вып. 1 (4). – С. 3-19.

44. Ефремушкин Г.Г. Влияние физических тренировок на гемодинамику в магистральных артериях и толерантность к физическим нагрузкам у больных артериальной гипертензией пожилого возраста / Г.Г. Ефремушкин, А.А. Молчанова, Е.А. Денисова, Т.В. Филиппова // Российский кардиологический журнал. – 2011. – № 5 (91).

45. Ефремова Р.И. Влияние соревновательной деятельности на сердечно-сосудистую систему юных лыжников с нормотоническим типом вегетативной нервной системы / Р.И. Ефремова, А.П. Спицин // Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье. – 2017. – № 5 (29). – С. 161-164.

46. Жукова Н.Э. Оценка эффективности системной озонотерапии алкогольной абстиненции по параметрам variability сердечного ритма / Н.Э. Жукова, А.К. Мартусевич // Биорадикалы и антиоксиданты. – 2017. – Т. 4. – № 4. – С. 26-32.

47. Задорожная М.П. Гемодинамика малого круга кровообращения и структурно-функциональное состояние правых отделов сердца при гипертонической болезни: метод. рекомендации / М.П. Задорожная, Р.Р. Мандрова, В.В. Разумов. – Новокузнецк: ГОУ ДПО «НовокузГИУВ Росздрава», 2008. – 32 с.

48. Заславская Р.М. Корреляционные отношения между параметрами погодных факторов и показателями гемодинамики у больных с артериальной гипертензией / Р.М. Заславская, Э.А. Щербань, С.И. Логниненко // Научные ведомости. Серия Медицина. Фармация. – 2010. – № 4 (75). – С. 41-46.

49. Зенков Н.К. Окислительный стресс: Биохимический и патофизиологический аспекты / Н.К. Зенков, В.З. Ланкин, Е.Б. Меньщикова. – М.: МАИК «Наука / Интерпериодика», 2001. – 343 с.

50. Зусманович Ф.Н. Динамика перфузионного давления в нижних конечностях в покое и после физической нагрузки / Ф.Н. Зусманович, С.Н. Клизарова // Физиология человека. – 2002. – Т. 28. – № 3. – С. 133-136.



51. Иванова И.П. Хемилюминесценция, индуцированная реакцией Фентона – математическое моделирование процесса: особенности, параметры и условия применения для биомедицинских исследований / И.П. Иванова, С.В. Трофимова, И.М. Пискарев // Современные технологии в медицине. – 2014. – Т. 6. – № 4. – С. 14-25.

52. Игнатенко В.А. ТБК-активные продукты перекисного окисления липидов эритроцитов в УЗ-поле и при наличии этанола / В.А. Игнатенко, А.В. Лысенкова, А.Л. Калинин, А.Л. Казушик // Проблемы здоровья и экологии. – 2012. – № 4 (34). – С. 117-122.

53. Игнатьева В.П. Повышение физической работоспособности и развитие общей выносливости у студенток III функциональной группы здоровья / В.П. Игнатьева, В.Ю. Лебединский // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 2. – С. 102-107.

54. Иорданская Ф.А. Мониторинг функциональной подготовленности юных спортсменов - резерва спорта высших достижений (этапы углубленной подготовки и спортивного совершенствования) / Ф.А. Иорданская. – М.: Советский спорт, 2017. – 818 с.

55. История ГТО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gto.ru/history>.

56. Казин Э.М. Особенности психофизиологической адаптации студентов факультета физической культуры, специализирующихся в разных видах спорта, к условиям обучения в вузе / Э.М. Казин, Л.А. Варич // Физиология человека. – 2005. – Т.31. – № 1. – С. 77-81.

57. Калабин О.В. Адаптационные возможности пауэрлифтеров в зависимости от типа вегетативной регуляции ритма сердца / О.В. Калабин, А.П. Спицин // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Современные методы организации тренировочного процесса, оценки функционального состояния и восстановления спортсменов». – Челябинск: УралГУФК, 2017. – С. 105-111.

58. Калабин О.В. Адаптация сердечно-сосудистой системы пауэрлифтеров при ортостатической пробе / О.В. Калабин, А.П. Спицин // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной науки и образования». – Киров: МФЮА, 2016. – С. 423-428.

59. Калабин О.В. Вариабельность сердечного ритма, центральная и периферическая гемодинамика у спортсменов, занимающихся пауэрлифтингом: дисс. канд. биол. наук: 03.03.01 / Калабин Олег Владимирович – М., 2018. – 139 с.

60. Калабин О.В. Динамика изменения ритма сердца в ответ на тренировочную нагрузку / О.В. Калабин, А.П. Спицин // Материалы XII Международной научной конференции по вопросам состояния и перспективам развития медицины в спорте высших достижений «СпортМед-2017». – Москва: РАСМИРБИ, 2017. – С. 55-57.

61. Калабин О.В. Особенности вариабельности сердечного ритма пауэрлифтеров при ортостатической пробе / О.В. Калабин, А.П. Спицин // Материалы VI Всероссийского симпозиума с международным участием: «Ритм сердца и тип вегетативной регуляции в оценке уровня здоровья населения и функциональной подготовленности спортсменов». – Ижевск: УдГУ, 2016. – С. 139-142.

62. Калабин О.В. Особенности вариабельности сердечного ритма спортсменов, занимающихся пауэрлифтингом при пробах с регулируемой частотой дыхания / О.В. Калабин, А.П. Спицин // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы и инновации спортивного менеджмента, рекреации и спортивнооздоровительного туризма». – Казань: ПГАФКСиТ, 2017. – С. 229-234.

63. Калиниченко И.А. Физическая подготовленность учащихся с разным уровнем физического развития и функционального состояния организма / И.В. Калиниченко // Новые исследования. – 2004. – № 1-2. – С. 196-203.

64. Кальная Е.В. Влияние спортивных физических нагрузок на регуляторно-адаптивные возможности студенток с различной двигательной активностью / Е.В. Кальная, А.В. Шаханова, Т.А. Схакумидов, А.Р. Меретукова // Вестник Адыгейского государственного университета. – 2014. – № 3 (142). – С. 80-88.
65. Камаев И.А. Особенности и прогнозирование здоровья, факторы риска и медицинское обеспечение российских и иностранных студентов медицинского вуза: монография / И.А. Камаев, М.С. Гурьянов, С.В. Миронов, С.А. Апоян. – Нижний Новгород. Изд-во: НижГМА, 2016. – 162 с.
66. Кедров А.А. Вопросы физиологии внутричерепного кровообращения с клиническим их освещением / А.А. Кедров, А.И. Науменко. – М.: Государственное издательство медицинской литературы, 2012. – 134 с.
67. Ключков В.А. Динамика среднего АД при проведении велоэргометрии у больных артериальной гипертензией / В.А. Ключков // Российский кардиологический журнал. – 2000. – № 3. – С. 18–20.
68. Коваль В.Т. Технические и физиологические особенности мониторинга гемодинамики / В.Т. Коваль, А.Н. Розенбаум, Г.А. Заяц, Н.С. Сошина, А.В. Ким // Известия ЮФУ. – 2014. – С. 167-176.
69. Коган А.Х. Фагоцитзависимые кислородные свободнорадикальные механизмы аутоагрессии в патогенезе внутренних болезней / А.Х. Коган // Вестник РАМН. – 1999. – № 2. – С. 3-10.
70. Копаев В.П. Гармонизация умственных и физически нагрузок как условие повышение эффективности обучения студентов физкультурных вузов / В.П. Копаев // Теория и практика физической культуры. – 2000. – № 5. – С. 5-8.
71. Корденко А.Н. Изучение состояния здоровья учащейся молодёжи / А.Н. Кордиенко, С.И. Картышева, Н.М. Преснякова, В.И. Ковылова, С.М. Колесниченко, Л.В. Пахунова, Н.В. Соколова, И.А. Кармаева // Альманах. Новые исследования. – 2004. – № 1-2. – С. 215.
72. Корнякова В.В. Процессы свободнорадикального окисления при утомлении, развившемся вследствие интенсивных физических нагрузок / В.В.

Корнякова, В.Д. Конвай, В.А. Муратов // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 9 (1). – С. 308-311.

73. Коурова, О.Г. Особенности реакции сердечно-сосудистой системы на локальную, мышечную деятельность в различные возрастные периоды / О.Г. Коурова // Физиология человека. – 2004. – С. 107.

74. Кулинский В.Н. Глутатион ядра клетки и его функции / В.Н. Кулинский, Л.С. Колеснеченко // Биомедицинская химия. – 2010. – Т. 56. – Вып. 6. – С. 657-662.

75. Кутасин А.Н. Средства восстановления работоспособности спортсмена после физических нагрузок: учебно-методическое пособие / А.Н. Кутасин, Н.В. Морозова, Н.Н. Устюхова. – Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2019. – 54 с.

76. Лебединский К.М. Кровообращение и анестезия / К.М. Лебединский, В.А. Басова, А.Е. Баутин, Г.Г. Бестаев, П.В. Ваневский, Г.Н. Васильева и соавт.; под ред. К.М. Лебединского. – изд. 2-е, испр. СПб.: Человек, 2015. – 1076 с.

77. Литвинова Н.А. Адаптация студентов к учебной деятельности / Н.А. Литвинова, М.Г. Березина, Е.С. Гольдшмидт, В.И. Иванов, А.М. Прохорова // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2004. – Т. 90. – № 8. – С. 206.

78. Литвякова И.В. Влияние программ физической реабилитации с использованием циклических и силовых тренажеров на клиническое течение и базисную медикаментозную терапию у больных артериальной гипертензией / И.В. Литвякова, Ф.Ю. Мухарлямов // Вестник восстановительной медицины. – 2010. – № 6. – С. 75-78.

79. Луцкий М.А. Свободнорадикальное окисление липидов и белков – универсальный процесс жизнедеятельности организма / М.А. Луцкий, Т.В. Куксова, М.А. Смелянец, Ю.П. Лушникова // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 12. – С. 24-28.

80. Любимова З.В. Возрастная анатомия и физиология в 2 т. Т.1 Организм человека, его регуляторные и интегративные системы: учебник / З.В. Любимова, А.А. Никитина. – Люберцы: Юрайт, 2016. – 447 с.

81. Магомедов М.А. Вариабельность сердечного ритма, клинические и психофизиологические показатели у больных ишемической болезнью сердца в процессе реабилитации физическими тренировками / М.А. Магомедов, А.П. Спицин // Сибирский медицинский журнал. – 2009. – № 1. – С. 93-98.

82. Маркина Л.Д. Психофизиологическая адаптация курсантов-судоводителей на начальных этапах обучения / Л.Д. Маркина, Л.Л. Панченко // Тезисы докладов I съезда Физиологов СНГ. Т.2. – Сочи: М.: Медицина - Здоровье, 2005. – С. 273.

83. Мартусевич А.К. Вариабельность сердечного ритма в динамике купирования алкогольного абстинентного синдрома / А.К. Мартусевич, Н.Э. Жукова // Вопросы наркологии. – 2011. – № 4. – С. 11-16.

84. Мартусевич А.К. Влияние гелиевой холодной плазмы на параметры вариабельности сердечного ритма крыс / А.К. Мартусевич, С.Ю. Краснова, П.В. Перетягин, А.Г. Галка, Е.С. Голыгина, А.В. Костров // Биофизика. – 2019. – Т. 64. – № 3. – С. 596-600.

85. Мартусевич А.К. Оценка вариабельности сердечного ритма при проведении курсовой ингаляционной озонотерапии в эксперименте / А.К. Мартусевич, А.А. Мартусевич, С.П. Перетягин, Л.В. Ошевенский, П.В. Перетягин // Вестник физиотерапии и курортологии. – 2012. – Т. 17. – № 5. – С. 31-32.

86. Мартусевич А.К. Влияние ингаляций активных форм кислорода на состояние системной и локальной гемодинамики крыс / А.К. Мартусевич, С.П. Перетягин, А.А. Мартусевич, П.В. Перетягин // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2016. – Т. 161. – № 5. – С. 572-575.

87. Мартусевич А.К. Экспериментальная оценка влияния ингаляций активными формами кислорода на системную гемодинамику и

микроциркуляцию / А.К. Мартусевич, С.П. Перетягин, П.В. Перетягин // Биорадикалы и антиоксиданты. – 2015. – Т. 2. – № 3. – С. 50-55.

88. Машанская А.В. Пробы с дозированной физической нагрузкой у подростков с артериальной гипертензией / А.В. Машанская // Сибирский медицинский журнал. – 2014. – № 6. – С. 23-28.

89. Медведев М.А. Значимость сердечных особенностей при интерпретации показателей спектральных составляющих сердечного ритма / М.А. Медведев, Д.В. Загулова, А.И. Нестеренко // Физиология человека. – 2002. – № 23. – С. 54-60.

90. Медведева К.А. Корреляционно-регрессионный анализ и его значение в экономико-статистических исследованиях / К.А. Медведева // Статистическая наука XXI века. – 2016. – № 3 (10). – С. 243-245.

91. Меньшикова Е.Б. Окислительный стресс. Прооксиданты и антиоксиданты / Е.Б. Меньшикова. – М.: Слово, 2006. – 503 с.

92. Меньшикова Е.Б. Антиоксиданты и ингибиторы радикальных окислительных процессов / Е.Б. Меньшикова, Н.К. Зенков // Успехи современной биологии. – 1993. – Т.113. – №4. – С. 422-455.

93. Методические рекомендации Министерства спорта Российской Федерации от 26.04.2017 № 542 «Методические рекомендации по организации и выполнению нормативов испытаний (тестов) Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса «Готов к труду и обороне» (ГТО)», 2017. – 62 с.

94. Молчанова Т.Н. Динамика некоторых психофизиологических параметров у представителей частных конституционных типов в зависимости от длительности адаптации к условиям Севера / Т.Н. Молчанова, А.Б. Гудков, О.Н. Рагозин // Экология человека. – 2009. – № 5. – С. 30-33.

95. Наследов А.Д. Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных: учебное пособие / А.Д. Наследов. – СПб.: Речь, 2004 – 392 с.

96. Николаева Т.М. Особенности периферической гемодинамики и когнитивных способностей человека при динамической физической нагрузке

нарастающей мощности / Т.М. Николаева, Е.К. Голубева // Современные проблемы науки и образования. – 2020. – № 6. – С. 147.

97. Оганисян А.О. Особенности изменения электрокардиограммы учащихся школ нового типа под влиянием экзаменационного стресса / А.О. Оганисян, С.М. Минасян, К.Р. Оганисян // Альманах. Новые исследования. – 2004. – № 1-2. – С. 285.

98. Олейников В.З. Клиническое значение частотного анализа ритмической деятельности сердца / В.З. Олейников, А.В. Кулюцин, М.В. Лукьянова // Сердце. – 2009. – Т. 8. – №6 (50). – С. 319-323.

99. Павленкович С.С. Краткий курс лекций по физиологии спорта: учебное пособие для студентов Института физической культуры и спорта / С.С. Павленкович. – Саратов: Изд-во Саратовского государственного университета, 2019. – 52 с.

100. Парин С.Б. Роль эндогенной опиоидной системы в управлении вариабельностью сердечного ритма в контексте когнитивных нагрузок разного уровня / С.Б. Парин, В.В. Ветюгов, А.В. Бахчина, С.А. Полевая // Современный технологии в медицине. – 2014. – Т. 6. – № 4. – С. 116-126.

101. Перетягин С.П. Исследование особенностей вариабельности сердечного ритма у пациентов с ожогами / С.П. Перетягин, А.К. Мартусевич, В.И. Борисов // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2011. – Т. 8. – № 4. – С. 10-14.

102. Перетягин С.П. Адаптационные возможности сердечно-сосудистой системы при накожном применении озона в условиях мини-сауны / С.П. Перетягин, А.К. Мартусевич, С.А. Соколов, А.В. Новиков, П.В. Перетягин // Биорадикалы и антиоксиданты. – 2017. – Т. 4. – № 1. – С. 25-30.

103. Пискарев И.М. Оценка окислительной и антиоксидантной способности биологических субстратов по хемиллюминесценции, индуцированной реакцией Фентона / И.М. Пискарев, И.П. Иванова // Современные технологии в медицине. – 2016. – Т. 8. – № 3. – С. 16-26.

104. Погодин В.В. Методические рекомендации по подготовке и сдаче нормативов комплекса ГТО: учебное пособие для самообразования и корпоративного обучения спортивных педагогов / В.В. Погодин. – Ульяновск: УлГУ, 2016. – 224 с.

105. Полевая С.А. Событийно-связанная телеметрия ритма сердца для персонафицированного дистанционного мониторинга когнитивных функций и стресса в условиях естественной деятельности / С.А. Полевая, Е.В. Еремин, Н.А. Буланов, А.В. Бахчина, А.В. Ковальчук, С.Б. Парин // Современные технологии в медицине. – 2019. – Т. 11. – № 1. – С. 109-115.

106. Попова, Т.В. Эффективность применения программы психофизической регуляции в занятиях с лицами разного возраста / Т.В. Попова, Н.Б. Пястолова // Теория и практика физической культуры. – 2002. – № 1. – С. 44-46.

107. Постановление Президента Российской Федерации от 24.03.2014 № 172 «О Всероссийском физкультурно-оздоровительном комплексе «Готов к труду и обороне» (ГТО)»: Собрание законодательства РФ, 2014.

108. Постановление Правительства Российской Федерации от 11.06.2014 № 540 «Об утверждении Положения о Всероссийском физкультурно-спортивном комплексе «Готов к труду и обороне» (ГТО)»: Собрание законодательства РФ, 2014. – 8 с.

109. Постановление Правительства Российской Федерации от 26.12.2017 № 1640 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие здравоохранения»: Собрание законодательства РФ, 2017. – 80 с.

110. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.09.2021 № 1661 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие физической культуры и спорта" и о признании утратившими силу некоторых актов и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации»: Собрание законодательства РФ. 2021. – 64 с.

111. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 23.10.2020 № 1144н «Об утверждении порядка организации оказания



медицинской помощи лицам, занимающимся физической культурой и спортом (в том числе при подготовке и проведении физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий), включая порядок медицинского осмотра лиц, желающих пройти спортивную подготовку, заниматься физической культурой и спортом в организациях и (или) выполнить нормативы испытаний (тестов) Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса «Готов к труду и обороне» (ГТО)» и форм медицинских заключений о допуске к участию в физкультурных и спортивных мероприятиях». [Электронный ресурс]. – 2020. Режим доступа:<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012030040>.

112. Прокопец Т.П. Комплексное использование средств физической культуры в профилактике и реабилитации пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями / Т.П. Прокопец, Л.И. Беженцева, Л.М. Беженцева // Сибирский медицинский журнал. – 2007. – № 3. – С. 78-83.

113. Пронина В.П. Метод дисперсионного картирования «портрет сердца» у здоровых лиц разных возрастных групп / В.П. Пронина, С.И. Федорова, Т.Ю. Лебедева // Технологии функциональной диагностики в современной клинической практике. Матер. VIII Всероссийской научно-практической конференции по функциональной диагностике, 2007. – С. 132-134.

114. Простяков А.А. Влияние регулярных занятий спортом на работу мозга / А.А. Простяков, А.М. Спиринов, Е.Ю. Козенко // Интерактивная наука. – 2020. – № 1 (47). – С. 19-21.

115. Псеунок А.А. Сравнительный анализ вариабельности сердечного ритма футболистов 17-18 лет / А.А. Псеунок, Д.А. Пустоверт, М.А. Меретукова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 3 (129). – С. 1-4.

116. Рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации от 01.09.2014. № 15-2/10/2-6621 по оказанию медицинской помощи обучающимся «Контроль за соблюдением санитарно-гигиенических

требований к условиям организации физического воспитания в образовательных организациях», 2014.

117. Родина О.П. Возможности и перспективы способов и приборов для измерения уровня артериального давления / О.П. Родина, И.Я. Моисеева, С.И. Геращенко, М.С. Геращенко, О.А. Водопьянова, А.Н. Митрошин // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 10-1. – С. 166-169.

118. Русанов В.Б. Системные изменения центральной гемодинамики в условиях адаптации к физическим нагрузкам на выносливость / В.Б. Русанов // *Вестник Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета*. – 2009. – № 8. – С. 267-275.

119. Савицкий Н.Н. Биофизические основы кровообращения и клинические методы изучения гемодинамики / Н.Н. Савицкий. – М.: Медицина, 1974. – 307 с.

120. Свердлов Ю.С. Патология сердечно-сосудистой системы. Часть I. «Важнейшие показатели кровообращения, применяемые для оценки функциональных нарушений сердечно-сосудистой системы»: учебно-методическая разработка для самостоятельной работы студентов 3-4 курсов лечебного и педиатрического факультетов / Ю.С. Свердлов. – М.: РГМУ, 2014. – 28 с.

121. Сигал З.М. Возможности применения пульсоксиметрии в клинической практике (обзор литературы) / З.М. Сигал, В.В. Брандин, С.Ю. Мещанов, С.З. Сигал // *Здоровье, демография, экология финно-угорских народов*. – 2017. – № 4. – С. 81-85.

122. Смирнов В.М. Физиология физического воспитания и спорта: учебник для студ. сред, и высш. учебных заведений / В.М. Смирнов, В.И. Дубровский. – М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2002. – 608 с.

123. Спицин А.П. Особенности центральной гемодинамики у лиц молодого возраста в зависимости от отличий фактической частоты сердечных сокращений / А.П. Спицин, Н.Е. Кушкова, Е.В. Колодкина // *Здоровье населения и среда обитания*. – 2018. – № 7 (304). – С. 27-30.

124. Суджаева О.А. Сравнительная эффективность физических тренировок на велоэргометре и тредмиле у пациентов с артериальной гипертензией по влиянию на толерантность к физической нагрузке / О.А. Суджаева, С.Г. Суджаева // Кардиология в Беларуси. – 2015. – № 3. – С. 101-107.

125. Таирова О.С. Физические тренировки в лечении больных с артериальной гипертензией / О.С. Таирова, М. Микелли, А. Лазари // Сердце. – 2006. – Т. 5. – № 4. – С. 200-203.

126. Талибов А.Х. Комплексный контроль в тренировке тяжелоатлетов высокой квалификации / А.Х. Талибов, Н.А. Дьяченко // Материалы итоговой научнопрактической конференции профессорско-преподавательского состава СПб ГУФК им. П.Ф. Лесгафта. – СПб., 2006. – С. 10-11.

127. Талибов А.Х. Критерии эффективности выполнения тяжелоатлетических упражнений / А.Х. Талибов, Н.А. Дьяченко, О.С. Федяев // Материалы итоговой научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава НГУ им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург. – СПб., 2009. – С. 144.

128. Талибов А.Х. Сравнительный анализ кинематических и динамических характеристик толчка и рывка в тяжелой атлетике / Н.А. Дьяченко, В.Д. Зверев, В.П. Аксенов, А.Х. Талибов // Физкультурное образование детей и учащейся молодежи: материалы междунар. науч.-практ. конф., посв. 60- летию Победы в Великой Отечественной Войне. – Шуя, 2005. – С. 56-58.

129. Талибов А.Х. Толерантность спортсменов к длительным физическим нагрузкам по показателям сердечно-сосудистой системы / А.Х. Талибов, С.П. Марченко, Э.Х. Настуев // Адаптация в спорте: состояние, перспективы, проблемы: материалы Международной научной конференции. – СПб., 2009. – С. 149.

130. Тригорлый С.Н. Программная обработка психофизиологических показателей студентов с последующей визуализацией результатов / С.Н.

Тригорлый, Л.Д. Маркина // I съезд физиологов СНГ: научные труды. – М.: Медицина. – Т. 2., 2005. – С. 283.

131. Тюрин Ю.Н. Анализ данных на компьютере / Ю.Н. тюрин, А.А. Макаров; под ред. В.Э. Фигурнова. – М.:ИНФРА-М, 1998. – 528 с.

132. Украинцева Ю.В. Поведенческие и вегетативные проявления эмоционального стресса у человека / Ю.В. Украинцева, Д.Н. Берлов, М.В. Русалова // Журнал высшей нервной деятельности. – 2006. – Т. 56. – № 2. – С.183-192.

133. Усова Е.В. Программа сохранения здоровья студентов в СГА / Е.В. Усова, Л.М. Качалова, Е.В. Чмыхова // Новые исследования. – 2004. – № 1-2. – С. 390-391.

134. Фаустов А.С. Изменение функционального состояния нервной системы студентов во время учёбы / А.С. Фаустов, Ю.В. Щербатых // Гигиена и санитария. – 2000. – № 6. – С.33-35.

135. Фахрутдинов А.М. Изменение содержания малонового диальдегида как возможная причина изменчивости сократительной функции двигательных мышц мыши *in vitro* в условиях белковой сенсibilизации / А.М. Фахрутдинов, А.Ю. Теплов, М.С. Митрофанов, И.Х. Валеева // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3.

136. Федеральный закон от 04.12.2007 № 329-ФЗ (ред. от 29.06.2015) «О физической культуре и спорте в Российской Федерации»: Собрание законодательства РФ. – 88 с.

137. Фролова Ю.В. Малоновый диальдегид как биологический маркер окислительного стресса при сахарном диабете / Ю.В. Фролова // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87. – № S5. – С. 47.

138. Хавинсон В.Х. Свободнорадикальное окисление и старение / В.Х. Хавинсон, В.А. Баринов, и др. – СПб.: Наука, 2003. – 327 с.

139. Харитонов Л.Г. Теоретическое и экспериментальное обоснование типов адаптации в спортивном онтогенезе лыжников-гонщиков / Л.Г.

Харитонов, В.И. Михалев, Ю.В. Шкляев // Теория и практика физической культуры. – 2000. – № 10. – С. 24-28.

140. Хватова М.В. Физиологические механизмы адаптации студентов к различным образовательным средам / М.В. Хватова, Е.В. Волкова // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2004. – Т. 90. – № 8. – С. 181-182.

141. Цвык И.В. Компьютерные технологии в современном образовательном процессе; этический аспект / И.В. Цвык // Вестник РУДН. – 2017. – Т. 21. – № 3. – С. 379-388.

142. Шабунин, Р.А. О связи психического и физиологического при выполнении произвольной работы учащимися различного возраста / Р.А. Шабунин // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2004. – Т.90. – № 8. – С. 413-414.

143. Шеметова Г.Н. Проблемы здоровья современной студенческой молодежи и нерешенные вопросы организации лечебно-профилактической помощи / Г.Н. Шеметова, Е.В. Дудрова // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2009. – Т. 5. – № 4. – С. 526-530.

144. Шинкаренко Н.В. Химические свойства синглетного молекулярного кислорода и значение его в биологических системах / Н.В. Шинкаренко, В.Б. Алексовский // Успехи химии. – 1982. – Т.51. – № 5. – С. 713-735.

145. Шупуров Ф.А. Мотивационная деятельность студентов и уровень тревожности при эмоциональном напряжении / Ф.А. Шупуров, Н.Х. Меликова // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2004. – Т. 90. – № 8. – С. 100-101.

146. Щербатых Ю.В. Саморегуляция вегетативного гомеостаза при эмоциональном стрессе / Ю.В. Щербатых // Физиология человека. – 2000. – Т. 26. – № 5. – С.151.

147. Шлык Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов / Н.И. Шлык. – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2009. – 259 с.

148. Шлык Н.И. Экспресс-оценка функциональной готовности организма спортсменов к тренировочной и соревновательной деятельности (по данным анализа вариабельности сердечного ритма) / Н.И. Шлык // Наука и спорт: современные тенденции. – 2015. – Т. 9. – № 4. – С. 5-15.
149. Acharya U.R. Heart rate variability: a review / U.R. Acharya, K.P. Joseph, N. Kannathal, Choo Min Lim, J.S. Suri // *Med. Bio. Eng. Comput.* – 2006. – Vol. 44, № 12. – P. 1031-1051.
150. Aftanas, L.I. Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: high-resolution EEG investigation of meditation / L.I. Aftanas // *Neurosci Lett.* – 2001. – 129 p.
151. Allan M.E., Storey K.B. Expression of NF-kB and downstream antioxidant genes in skeletal muscle of hibernating ground squirrels, *Spermophilus tridecemlineatus* / M.E. Allan, K.B. Storey // *Cell. Biochem. Funct.* – 2012. – Vol. 30. – P. 166-174.
152. Allen R. Evidence for the generation of an electronic excitation state(s) in human polymorphonuclear leukocytes and its participation in bacterial activity / R. Allen R. Stemholm, R. Steele // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* – 1972. – Vol. 47. – P. 679–84.
153. Alperovitch A. Relationship between blood pressure and outdoor temperature in a large sample of elderly individuals: the Three-City study / A. Alperovitch, J.M. Lacombe, O. Hanon, et al. // *Arch. Intern. Med.* – 2009. – Vol. 169, № 1. – P. 75-80.
154. Alter P. Heart rate variability in patients with cardiac hypertrophy: relation to left ventricular mass and etiology / P. Alter, W. Grimm, A. Vollrath, et al // *Am. Heart J.* – 2006. – Vol. 151, № 4. – P. 829-36.
155. Ames B.N. Micronutrient deficiencies. A major cause of DNA damage / B.N. Ames // *Ann. Acad. Sci.* – 1999. – Vol. 889. – P. 87-106.
156. Andriantsitohaina R. Molecular mechanisms of the cardiovascular protective effects of polyphenols / R. Andriantsitohaina, C. Auger, T. Chataigneau, et al. // *Br. J. Nutr.* – 2012. – Vol. 108. – P. 1532-1549.

157. Antelmi I. Influence of age, gender, body mass index, and functional capacity on heart rate variability in a cohort of subjects without heart disease / I. Antelmi, R.S. de Paula, A.R. Shinzato, et al. // *Am. J. Cardiol.* – 2004. – Vol. 93, № 3. – P. 381-385.
158. Araujo F. Lower heart rate variability is associated with higher serum high-sensitivity C-reactive protein concentration in healthy individuals aged 46 years or more / F. Araujo, I. Antelmi, A. Pereira, et al. // *Int. J. Cardiol.* – 2006. – Vol. 107, № 3.
159. Bachorun T. Free radicals and antioxidants in cardiovascular health and disease / T. Bachorun, M.A. Soobrattee, V. Luximom-Ramma, et al. // *IJMU.* – 2006. – Vol. 11. – P. 1-21.
160. Banfi G. Serum creatinine concentration and creatinine-based estimation of glomerular filtration rate in athletes / G. Banfi, M. Del Fabbro, G. Lippi // *Sports Med.* – 2009. – Vol. 39, № 4. – P. 331–7.
161. Barengo N.C. Low physical activity as a predictor for antihypertensive drug treatment in 25-64-year-old populations in Eastern and south-western Finland / N.C. Barengo, G. Kastarinen, M. Hu, et al. // *J. Hypertens.* – 2005. – Vol. 23. – P. 293-299.
162. Bellenger C.R. Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: a systematic review and meta-analysis / C.R. Bellenger, J.T. Fuller, R.L. Rhomson, et al. // *Sports Med.* – 2016. – Vol. 46, № 10. – P. 1461-86.
163. Besnier F. Exercise training-induced modification in autonomic nervous system: An update for cardiac patients / F. Besnier, M. Labrunée, A. Pathak, et al. // *Ann. Phys. Rehabil. Med.* – 2017. – Vol. 60, № 1. – P. 27-35.
164. Bland J.M. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement / J.M. Bland, D.G. Altman // *Lancet.* – 1986. – Vol. 8, № 1(8476). – P. 307-10.
165. Bockelmann I. Assessing the suitability of cross-sectional and longitudinal cardiac rhythm tests with regard to identifying effects of occupational

chronic lead exposure / I. Bockelmann, E.A. Pfister, N. McGauran, B.P. Robra // *J. Occup. Environ. Med.* – 2002. – Vol. 44, № 1. – P. 59-65.

166. Britton A. Changes in heart rate and heart rate variability over time in middle-aged men and women in the general population (from the Whitehall II cohort study) / A. Britton, M. Shipley, M. Malik, et al. // *Am. J. Cardiol.* – 2007. – Vol. 100, № 3. – P. 524-527.

167. Brotman D.J. Heart rate variability predicts ESRD and CKD-related hospitalization / D.J. Brotman, L.D. Bash, R. Qayyum, et al. // *J. Am. Soc. Nephrol.* – 2010. – Vol. 21, № 9. – P. 1560-70.

168. Buchheit M. Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate recovery or heart rate variability? / M. Buchheit, Y. Paelier, P.B. Laursen, S. Ahmaidi // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* – 2007. – Vol. 293. – P. H8-H10.

169. Burke V. Effects of a lifestyle program on ambulatory blood pressure and drugdosage in treated hypertensive patients: a randomized controlled trial / V. Burke, L.J. Beilin, H.E. Cutt, et al. // *J. Hypertens.* – 2005. – Vol. 23, № 6. – P. 1241-1249.

170. Cantú-Medellín N. Differential antioxidant protection in tissues from marine mammals with distinct diving capacities. Shallow/short vs. deep/long divers / N. Cantú-Medellín, B. Byrd, A. Hohn, et al. // *J. Comp. Biochem. Physiol. A.* – 2011. – Vol. 158. – P. 438-443.

171. Cavelaars M. Haemodynamic responses to physical activity and body posture during everyday life / M. Cavelaars, J.H. Tulen, J.H. van Bommel, P.G. Mulder, A.H. van den Meiracker // *J Hypertens.* – 2004. – Vol. 1, № 1. – P. 89-96.

172. Chobanian A.V. Seventh report of the Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure / A.V. Chobanian, G.L. Bakris, H.R. Black, et al. // *Hypertension.* – 2003. – Vol. 42, № 6. – P. 1206–52.

173. Chobanian A.V. Time to reassess blood-pressure goals / A.V. Chobanian // *N. Engl. J. Med.* – 2015. – Vol. 373. – P. 2093–2095.



174. Choudhury A. Exercise and hypertension / A. Choudhury, G.Y.H. Lip // *J. Hum. Hypertens.* – 2005. – Vol. 19. – P. 585–587.
175. Cole C.R. Heart rate recovery after submaximal exercise testing as a predictor of mortality in a cardiovascularly healthy cohort / C.R. Cole, J.M. Foody, E.H. Blackstone, M.S. Lauer // *Ann. Int. Med.* – 2000. – Vol. 132. – P. 552–555.
176. Corino V.D.A. Analysis of heart rate variability to predict patient age in a healthy population / V.D.A. Corino, M. Matteucci, L.T. Mainardi // *Methods Inf. Med.* – 2007. – Vol. 46, № 2. – P. 191-195.
177. Cornelissen V.A. Impact of resistance training on blood pressure and other cardiovascular risk factors: a meta-analysis of randomized, controlled trials / V.A. Cornelissen, R.H. Fagard, E. Coeckelberghs, L. Vanhees // *Hypertension.* – 2011. – Vol. 58. – P. 950-8.
178. Cornelissen V.A. Effect of resistance training on resting blood pressure: a metaanalysis of randomized controlled trials / V.A. Cornelissen, R.H. Fagard // *J. Hypertens.* – 2005. – Vol. 23, № 2. – P. 251–9.
179. Cornelissen V.A. Effects of endurance training on blood pressure, blood pressure-regulating mechanisms, and cardiovascular risk factors / V.A. Cornelissen, R.H. Fagard // *Hypertension.* – 2005. – Vol. 46, № 4. – P. 667–675.
180. Cunnane G. Early joint erosions and serum levels of matrix metalloproteinase 1, matrix metalloproteinase 3, and tissue inhibitor of metalloproteinases 1 in rheumatoid arthritis / G. Cunnane, O. Fitz Gerald, C. Beeton, et al. // *Arth. Rheumat.* – 2001. – Vol. 44. – P. 2263-74.
181. Curtis L.K. Reversing atherosclerosis? / L.K. Curtis // *New Eng. J. Med.* – 2009. – Vol. 360. – P. 1144-6.
182. Da Palma R.K. Resistance or aerobic training decreases blood pressure and improves cardiovascular autonomic control and oxidative stress in hypertensive menopausal rats / R.K. Da Palma, I.C. Moraes-Silva, D. Da Silva Dias, et al. // *Appl. Physiol.* – 2016. – Vol. 121, № 4. – P. 1032-1038.
183. Daskalopoulou S.S. The 2012 Canadian hypertension education program recommendations for the management of hypertension: blood pressure measurement,

diagnosis, assessment of risk, and therapy / S.S. Daskalopoulou, N.A. Khan, R.R. Quinn, et al. // *Can. J. Cardiol.* – 2012. – Vol. 28, № 3. – P. 270–87.

184. DiegoNieto A. Severe renal artery stenosis after renal sympathetic denervation / A. DiegoNieto, I. Cruz-Gonzalez, J. Martin-Moreiras, et al. // *JACC Cardiovasc. Interv.* – 2015. – № 8. – P. e193–e194.

185. Dietrich D.F. Heart rate variability in an ageing population and its association with lifestyle and cardiovascular risk factors: results of the SAPALDIA study / D.F. Dietrich, C. Schindler, J. Schwartz // *Europ. Society Cardiol.* – 2006. – Vol. 8, № 7. – P. 521-529.

186. Dizgaroglu M. Free radical incudes damage to DNA DNA: Mechanisms and measurement / M. Dizgaroglu, P. Jaruga, M. Birincioglu, et al. // *Free Radic. Biol. Med.* – 2002. – Vol. 32. – P. 1102–1115.

187. Dresing T.J. Usefulness of impaired chronotropic response to exercise as a predictor of mortality, independent of the severity of coronary artery disease / T.J. Dresing, E.H. Blackstone, F.J. Pashkow, et al. // *Am. J. Cardiol.* – 2000. – Vol. 86. – P. 602–609.

188. Durarte J.A.R. Endothelium-derived oxidative stress may contribute to exercise-induced muscle damage / J.A.R. Durarte, H.J. Appell, F. Carvalho, M. Bastos, J.M. Soares // *Int. J. Sports Med.* – 1993. – Vol. 14. – P. 440-3.

189. Durstine J.L. Effect of aerobic exercise training on serum levels of high density lipoprotein cholesterol: a meta-analysis / J.L. Durstine // *Clin. J. Sport Med.* – 2008. – Vol. 18, № 1. – P. 107-8.

190. Dylst D. Monitoring of absolute cerebral oxygen saturation during craniotomy for acute intracerebral bleeding / D. Dylst, C.S. De Deyne, F. Weyns, F. Jans, R. Heylen // *Eur J Anaesthesiol.* – 2009. – Vol. 26 (45). – P. 5-6.

191. Erdogan D. Effects of normal blood pressure, prehypertension, and hypertension on autonomic nervous system function / D. Erdogan, E. Gonul, A. Icli, et al. // *Int. J. Cardiol.* – 2011. – Vol. 151. – P. 50–53.

192. Esler M. Point: chronic activation of the sympathetic nervous system is the dominant contributor to systemic hypertension / M. Esler, E. Lambert, M. Schlaich // *J. Appl. Physiol.* – 2016. – Vol. 109. – P. 1996-1998.
193. Farah B.Q. Heart rate variability and cardiovascular risk factors in adolescent boys / B.Q. Farah, M.V. Barros, B. Balagopal, et al. // *J. Pediatr.* – 2014. – Vol. 165, № 5. – P. 945–950.
194. Fleck S.J. Basic Principles of Resistance Training and Exercise Prescription / S.J. Fleck, W.J. Kraemer // *Designing Resistance Training Programs*. Champaign: Human Kinetics. – 2004. – P. 3-12.
195. Fleischmann E.H. Intensive training of patients with hypertension is effective in modifying lifestyle risk factors / E.H. Fleischmann, A. Friedrich, E. Danzer, et al. // *J. Hum. Hypertens.* – 2004. – Vol. 18, № 2. – P. 127–131.
196. Fox K. The Heart Rate Working Group. Resting heart rate in cardiovascular disease / K. Fox, J.S. Borer, J. Camm, et al. // *J. Am. Coll. Cardiol.* – 2007. – Vol. 50. – P. 823– 830.
197. Freanzini L. Dietary antioxidant and glucose metabolism / L. Freanzini, D. Ardigo, I. Zavaroni // *Curr. Opin. Clin. Nutr. Met. Care.* – 2008. – Vol. 11. – P. 471-6.
198. Fukai T. Superoxide dismutases: role in redox signaling, vascular function, and diseases / T. Fukai, M. Ushio-Fukai // *Antioxid. Redox Signal.* – 2011. – Vol. 15. – P. 1583-1606.
199. Gajek J. Heart rate variability in workers chronically exposed to lead / J. Gajek, D. Zysko, E. Chlebda // *Kardiol. Pol.* – 2004. – Vol. 61, № 7. – P. 21-30.
200. Gamelin F.X. Effect of training and detraining on heart rate variability in healthy young man / F.X. Gamelin, S. Berthoin, H. Sayah, et al. // *Int. J. Sports Med.* – 2007. – Vol. 28. – P. 564-570.
201. García-García A. Office and 24-hour heart rate and target organ damage in hypertensive patients / A. García-García, M.A. Gómez-Marcos, J.I. Recio-Rodríguez, et al. // *BMC Cardiovasc. Disord.* – 2012. – Vol. 12. – P. 19.

202. Grassi G. The sympathetic nervous system alterations in human hypertension / G. Grassi, A. Mark, M. Esler // *Circ. Res.* – 2015. – Vol. 116. – P. 976–90.
203. Gutteridge J.M.C. Free radicals in disease processes: A compilation of cause and consequence / J.M.C. Gutteridge // *Free Radic. Res. Commun.* – 1993. – Vol. 19. – P. 141-158.
204. Hagberg J.M. The role of exercise training in the treatment of hypertension / J.M. Hagberg, J.J. Park, M.D. Brown // *Sports Med.* – 2000. – Vol. 30. – P. 193–206.
205. Hainsworth, R. Cardiovascular control from cardiac and pulmonary vascular receptors / R. Hainsworth // *Exp. Physiol.* – 2014. – Vol. 99, № 2. – P. 312–9.
206. Hill L.K. Racial differences in the association between heart rate variability and left ventricular m BMC / L.K. Hill, L.L. Watkins, A.L. Hinderliter, et al. // *Cardiovasc. Disord.* – 2012. – Vol. 12. – P. 105.
207. Hirai N. Elevated urinary biopyrrin excretion and oxidative bilirubin metabolism during 24-hour ultramarathon running / N. Hirai, S. Horiguchi, M. Ohta, M. Watanabe, I. Shioji, A. Ohnishi // *Rinsho Byori.* – 2010. – Vol. 58, № 4. – P. 313-8.
208. Hogarth, A.J. The sympathetic drive after acute myocardial infarction in hypertensive patients / A.J. Hogarth, A.F. Mackintosh, D.A. Mary // *Am. J. Hypertens.* – 2006. – Vol. 19. – P. 1070-1076.
209. Hu G. Joint effects of physical activity, body mass index, waist circumference and waist-to-hip ratio with the risk of cardiovascular disease among middle-aged Finnish men and women / G. Hu, et al. // *Eur. Heart J.* – 2004. – Vol. 25. – P. 2212–2219.
210. Hu G. Relationship of Physical Activity and Body Mass Index to the Risk of Hypertension: A Prospective Study in Finland / G. Hu, N.C. Barengo, J. Tuomilehto, et al. // *Hypertension.* – 2004. – Vol. 43. – P. 25-30.

211. Hulbert A.J. Life and Death: Metabolic Rate, Membrane Composition, and Life Span of Animals / A.J. Hulbert, R. Pamplona, R. Buffenstein, et al. // *Physiol. Rev.* – 2007. – Vol. 87. – P. 1175-1213.
212. Hypertens J. Blanchard Exercise intensity alters postexercise / J. Hypertens, L.S. Pescatello, M.A. Guidry, et al. // *Hypotension.* – 2004. – Vol. 22. – P. 1881–1888.
213. Jaenisch R.B. Respiratory Muscle Training Improves Chemoreflex Response, Heart Rate Variability, and Respiratory Mechanics in Rats With Heart Failure / R.B. Jaenisch, E. Quagliotto, C. Chechi, et al. // *Can. J. Cardiol.* – 2017. – Vol. 33, № 4. – P. 508-514.
214. Jouven X. Heart-rate profile during exercise as a predictor of sudden death / X. Jouven, J.P. Empana, P.J. Schwartz, et al. // *N. Engl. J. Med.* – 2005. – Vol. 352. – P. 1951–1958.
215. Joyner M.J. Regulation of increased blood flow (hyperemia) to muscles during exercise: a hierarchy of competing physiological needs / M.J. Joyner, D.P. Casey // *Physiol Rev.* – 2015. – Vol. 95, № 2. – P. 549-601.
216. Kadoya M. Sleep, cardiac autonomic function, and carotid atherosclerosis in patients with cardiovascular risks: HSCAA study / M. Kadoya, H. Koyama, M. Kurajoh, et al. // *Atherosclerosis.* – 2015. – Vol. 238. – P. 409-414.
217. Kapil V. Central iliac arteriovenous anastomosis for hypertension: targeting mechanical aspects of the circulation / V. Kapil, P.A. Sobotka, M. Saxena, et al. // *Curr. Hypertens. Rep.* – 2015. – Vol. 17. – P. 585.
218. Karita K. Autonomic nervous activity changes in relation to the reporting of subjective symptoms among male workers in an information service company / K. Karita, M. Nakao, M. Nishikitani, K. Nomura, E. Yano // *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* – 2006. – Vol. 79, № 5. – P. 441-44.
219. Karns A.D. Study of aldosterone synthase inhibition as an add-on therapy in resistant hypertension / A.D. Karns, J.M. Bral, D. Hartman, et al. // *J. Clin. Hypertens.* – 2013. – Vol. 15. – P. 186–192.

220. Keller K. Post Impact of exaggerated blood pressure response in normotensive individuals on future hypertension and prognosis: Systematic review according to PRISMA guideline / K. Keller, K. Stelzer, M.A. Ostad // *Adv. Med. Sci.* – 2017. – Vol. 62, № 2. – P. 317-329.

221. Kelley G.A. Aerobic exercise, lipids, and lipoproteins in men: a meta-analysis of randomized controlled trials / G.A. Kelley, K.S. Kelley // *J. Mens Health Gend.* – 2006. – Vol. 3, № 1. – P. 61–70.

222. Kelley G.A. Isometric handgrip exercise and resting blood pressure: a metaanalysis of randomized controlled trials / G.A. Kelley, K.S. Kelley // *J. Hypertens.* – 2010. – Vol. 28. – P. 411-8.

223. Kim W.S. An update on niche composition, signaling and functional regulation of the adipose - derived stem cells / W.S. Kim, J. Han, S. Hwang, et al. // *Expert Opin. Biol. Ther.* – 2014. – Vol. 14, № 8. – P. 1-12.

224. Kimura T. Seasonal blood pressure variation and its relationship to environmental temperature in healthy elderly Japanese studied by home measurements / T. Kimura, S. Senda, H. Masugata, et al. // *Clin. Exp. Hypertens.* – 2010. – Vol. 32, № 1. – P. 8-12.

225. Kimura T. NOS3 genotype-dependent correlation between blood pressure and physical activity / T. Kimura, T. Yokoyama, Y. Matsumura, et al. // *Hypertension.* – 2003. – Vol. 41. – P. 355-360.

226. Konrady A.O. Power spectral components of heart rate variability in different types of cardiac remodelling in hypertensive patients / A.O. Konrady, O.G. Rudomanov, O.I. Yacovleva, E.V. Shlyakhto // *Med. Sci. Monit.* – 2001. – № 7. – P. 58–63.

227. Koskinen T. Short-term heart rate variability in healthy young adults the cardiovascular risk in young finns stude / T. Koskinen, M. Kahonen, A. Jula, et al. // *Auton. Neurosci.* – 2009. – Vol. 145, № 1-2. – P. 81-88.

228. Kristiansen J. Reproducibility and seasonal variation of ambulatory short-term heart rate variability in healthy subjects during a self-selected rest period

and during sleep / J. Kristiansen, A. Olsen, J.H. Skotte, A.H. Garde // *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* – 2009. – Vol. 69, № 6. – P. 651-661.

229. Kunutsor S.K. The effect of ambient temperature on blood pressure in rural West African adult population: a cross-sectional study / S.K. Kunutsor, J.W. Powles // *Cardiovasc. J. Afr.* – 2010. – Vol. 21, № 1. – P. 17-20.

230. Kuribayashi F. Cell adhesion markedly increases lucigenin-enhanced chemiluminescence of the phagocyte NADPH oxidase / F. Kuribayashi, S. Tsuruta, et al. // *Genes Cells.* – 2008 –. Vol. 13, № 12. – P. 1249-56.

231. Kurz R.W. Evaluation of costs and effectiveness of an integrated outpatient training program for hypertensive patients / R.W. Kurz, H. Pirker, H. Potz // *Wien Klin. Wochenschr.* – 2005. – Vol. 117, № 15-16. – P. 526–33.

232. Laroux F.S. Role of nitric oxide in inflammation / F.S. Laroux, K.P. Pavlick, I.N. Hines, et al. // *Acta Physiol. Scand.* – 2001. – Vol. 173. – P. 113-118.

233. Leggio M. Effects of exercise training on systo-diastolic ventricular dysfunction in patients with hypertension: an echocardiographic study with tissue velocity and strain imaging evaluation / M. Leggio, A. Mazza, G. Cruciani, et al. // *Hypertens Res.* – 2014. – Vol. 37, № 7. – P. 649-654.

234. Lesniak K.T. Exercise and hypertension / K.T. Lesniak, P.M. Dubbert // *Curr. Opin. Cardiol.* – 2001. – Vol. 16, № 6. – P. 356–359.

235. Lloyd-Jones D. Health at a Glance: Europe 2016. State of Health in the EU Cycle. OEC D, EUROSTAT, European Commission, 2017. 183. Heart disease and stroke statistics – 2014 update: A report from the American Heart Association / D. Lloyd-Jones, R.J. Adams, T.M. Brown, et al. // *Circulation.* – 2014. – Vol. 129. – P. e28–e292.

236. Lobo M.D. Interventional procedures and future drug therapy for hypertension / M.D. Lobo, P.A. Sobotka, A. Pathak // *Eur. Heart J.* – 2017. – Vol. 38, № 15. – P. 1101-1111.

237. Lock R. Characteristics of the granulocyte chemiluminescence reaction following an interaction between human neutrophils and *Salmonella typhimurium* bacteria / R. Lock, C. Dahlgren // *APMIS.* – 1988. – Vol. 96, № 4. – P. 299-305.

238. Long L. Exercise-based cardiac rehabilitation for adults with stable angina / L. Long, L. Anderson, A.M. Dewhurst, et al. // *Cochrane Database Syst. Rev.* – 2018. – № 2. – CD012786.
239. MacDonald J.R. The effects on exercising muscle mass on post exercise hypotension / J.R. MacDonald, J.D. MacDougall, C.D. Hogben, J. Hum // *Hypertension.* – 2000. – Vol. 4, № 5. – P. 162-171.
240. Maharjan B.R. Oxidant stress antioxidant status and lipid profile in ischemic heart disease patients from western Nepal / B.R. Maharjan, J.C. Jha, D. Adhikari, et al. // *Nepal. Med. J.* – 2008. – Vol. 10. – P. 20-4.
241. Malpas J.S.C. Sympathetic nervous system overactivity and its role in the development of cardiovascular disease / J.S.C. Malpas // *Physiol. Rev.* – 2010. – Vol. 90. – P. 513-557.
242. Maurice M.M. An altered redox state in hyporesponsiveness of synovial T cells in rheumatoid arthritis / M.M. Maurice, H. Nakamura, E.A.M. Vander Voort, et al. // *J Immunol.* – 1997. – Vol. 158. – P. 1458-65.
243. McGeer P.L. Mechanisms of cell death in Alzheimer disease immunopathology / P.L. McGeer, E.G. McGeer // *J. Neural. Transm. Suppl.* – 1998. – Vol. 54. – P. 159-166.
244. Melillo P. Heart rate variability and target organ damage in hypertensive patients / P. Melillo, R. Izzo, N. De Luca, L. Pecchia // *Exp. Physiol.* – 2017. – Vol. 102, № 7. – P. 764-772.
245. Meral A. Lipid peroxidation and antioxidant status in beta-thalassemia / A. Meral, P. Tuncel, E. Surmen-Gur, et al. // *Pediatr Hematol Oncol.* – 2000. – Vol. 17. – P. 687-693.
246. Mokgobu M. Manganese promotes increased formation of hydrogen peroxide by activated human macrophages and neutrophils in vitro / M. Mokgobu, R. Anderson, et al. // *Inhal Toxicol.* – 2012. – Vol.10. – P. 634-44.
247. Montesa M.J.P. Study of oxidative stress in advanced kidney disease / M.J.P. Montesa, M.A.G. Rico, M.A.S. Salguero, et al. // *Nefrologica.* – 2009. – Vol. 29. – P. 464-73.



248. Mutoh T. Continuous cardiac output and near-infrared spectroscopy monitoring to assist in management of symptomatic cerebral oxygen saturation and clinical outcomes in cardiac surgery / T. Mutoh, T. Ishikawa, A. Suzuki // *Anesthesiology*. – 2011. – Vol. 114. – P. 58-69.

249. Neto O.B. Exercise training improves hypertension-induced autonomic dysfunction without influencing properties of peripheral cardiac vagus nerve / O.B. Neto, C.C. De Sordi, G.R. Da Mota, et al. // *Auton Neurosci*. – 2017. – Vol. 208. – P. 66-72.

250. Nishime E.O. Heart rate recovery and treadmill exercise score as predictors of mortality in patients referred for exercise ECG / E.O. Nishime, C.R. Cole, E.H. Blackstone, et al. // *JAMA*. – 2000. – Vol. 284. – P. 1392–1398.

251. Okutucu S. Heart rate recovery: a practical clinical indicator of abnormal cardiac autonomic function / S. Okutucu, U.N. Karakulak, K. Aytemir, A. Oto // *Expert. Rev. Cardiovasc. Ther.* – 2011. – Vol. 9, № 11. – P. 1417-30.

252. Oshikawa J. Extracellular SOD-derived H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> promotes VEGF signaling in caveolae/lipid rafts and post-ischemic angiogenesis in mice / J. Oshikawa, N. Urao, H.W. Kim, et al. // *PLoS One*. – 2010. – Vol. 5, № 4. – P. 1-14.

253. O'Sullivan S.E. The effects of exercise and training on human cardiovascular reflex control / S.E. O'Sullivan, C. Bell // *J. Auton Nerv. Syst.* – 2000. – Vol. 81. – P. 16-24.

254. Ozaki Y. Oxygen radical production by neutrophils from patients with bacterial infection and rheumatoid arthritis / Y. Ozaki, T. Ohashi, Y. Niwa // *Inflammation*. – 1986. – Vol. 10. – P. 119-130.

255. Paul L. Resting heart rate pattern during follow-up and mortality in hypertensive patients / L. Paul, C.E. Hastie, W.S. Li, et al. // *Hypertension*. – 2010. – Vol. 55. – P. 567–574.

256. Pierpont G.L. Pathophysiology of exercise heart rate recovery: a comprehensive analysis / G.L. Pierpont, S. Adabag, D. Yannopoulos // *Ann. Noninvasive Electrocardiol.* – 2013. – Vol. 18, № 2. – P. 107-17.

257. Pitsavos C. The impact of moderate aerobic physical training on left ventricular mass, exercise capacity and blood pressure response during treadmill testing in borderline and mildly hypertensive males / C. Pitsavos, C. Chrysohoou, M. Koutroumbi, et al. // *Hellenic J. Cardiol.* – 2011. – Vol. 52. – P. 6-14.
258. Queiroz A.C. Post-resistance exercise hemodynamic and autonomic responses: Comparison between normotensive and hypertensive men / A.C. Queiroz, J.C. Sousa, A.A. Cavalli, et al. // *Scand. J. Med. Sci. Sports.* – 2015. – Vol. 25, № 4. – P. 486-94.
259. Resende R. Brain oxidative stress in a tripletransgenic mouse model of Alzheimer disease / R. Resende, P.I. Moreira, T. Proenca, et al. // *Free Radic. Biol. Med.* – 2008. – Vol. 44. – P. 2051-7.
260. Sandra A. Exercise blood pressure and future cardiovascular death in asymptomatic individuals / A. Sandra, S. Weiss Roger, A. Blumenthal, et al. // *Circulation.* – 2010. – Vol. 121. – P. 2109-2119.
261. Sathyapriya K. Antioxidant status in polycystic end stage renal renal diseased patients and antihemolytic effect of *Boerhaavia diffusa* / K. Sathyapriya, V. Vijayachandrika, C.S. Paxameswari // *Ind. J. Biochem. Biophys.* – 2009. – Vol. 46. – P. 272.
262. Schepard J.F. Psychological stress / J.F. Schepard, M. Absi, T. Whtsett // *Plenum Press. New York.* – 2000. – 213 p.
263. Schlaich M.P. Sympathetic augmentation in hypertension: role of nerve firing, norepinephrine reuptake, and angiotensin neuromodulation / M.P. Schlaich, E. Lambert, D.M. Kaye, et al. // *Hypertension.* – 2004. – Vol. 43. – P. 169-175.
264. Schleicher E. Oxidative stress, AGE, and atherosclerosis / E. Schleicher, U. Friess // *Kid. Int.* – 2007. – Vol. 72. – P. 17-26.
265. Semlitsch T. Increasing Physical Activity for the Treatment of Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis / T. Semlitsch, K. Jeitler, L.G. Hemkens, et al. // *Sports Med.* – 2013. – Vol. 43, № 7. – P. 1009–1023.

266. Seravalle G. Sympathetic nerve traffic and baroreflex function in optimal, normal and highnormal blood pressure states / G. Seravalle, L. Lonati, S. Buzzi, et al. // *J. Hypertens.* – 2015. – Vol. 33. – P. 1411–7.
267. Serdar Z. Lipid and protein oxidation and antioxidant status in patients with angiographically proven coronary artery disease / Z. Serdar, K. Aslan, M. Dirican, et al. // *Clin. Biochem.* – 2006. – Vol. 48. – P. 1-11.
268. Serrano M. Cancer and aging: convergent and divergent mechanisms / M. Serrano, M.A. Blasco // *Nature.* – 2007. – Vol. 8. – P. 715-22.
269. Singh A.K. Gopal Obesity and dyslipidemia / A.K. Singh, S.K. Singh, N. Agrawal // *Int. J. Biol. Med Res.* – 2011. – Vol. 2, № 3. – P. 824-828.
270. Spodaryk K. Iron stores in marathoners throughout the sport season / K. Spodaryk K., A. Kopeć // *Adv Exerc Sports Physiol.* – 2004. – Vol. 10, № 1. – P. 1-6.
271. Stair I. Clinical tests of the simple method of estimating cardiac stroke volume from blood pressure and age / I. Stair // *Circulation.* – 1954. – № 93. – P. 664-681.
272. Stacey M.M.J. Heart rate variability and plasma nehrines in the evaluation of heat acclimatisation status / M.M.J. Stacey, S.K. Delves, D.R. Woods, et al. // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2018. – Vol. 118, № 1. – P. 165-174.
273. Stadtman E.R. Oxidation of proteins by mixed-function oxidation systems, implication in protein turnover, aging and neutrophil unction / E.R. Stadtman // *Trends Biochem. Sci.* – 1986. – Vol. 11. – P. 11-12.
274. Stuart J.A. A midlife crisis for the mitochondrial free radical theory of aging / J.A. Stuart, L.A. Maddalena, M. Merilovich, et al. // *Longev. Healthspan.* – 2014. – Vol. 3. – P. 4.
275. Suhr F. Intensive exercise induces changes of endothelial nitric oxide synthase pattern in human erythrocytes / F. Suhr, S. Porten, T. Hertrich, K. Brixius, A. Schmidt, P. Platen, W. Bloch // *Nitric Oxide.* – 2009. – Vol. 20, № 2. – P. 95-103.
276. Taty Zau J.F. Exercise through a cardiac rehabilitation program attenuates oxidative stress in patients submitted to coronary artery bypass grafting /

J.F. Taty Zau, R. Costa Zeferino, N. Sandrine Mota, et al. // *Redox. Rep.* – 2018. – Vol. 23, № 1. – P. 94-99.

277. Tretter L. Initiation of neuronal damage by complex I deficiency and oxidative stress in Parkinson's disease / L. Tretter, L. Sips, I. Adam-vizzi // *Neurochem. Res.* – 2004. – Vol. 29. – P. 569-77.

278. Umemiya N. Seasonal variations of physiological characteristics and thermal sensation under identical thermal conditions / N. Umemiya // *J. Physiol. Anthropol.* – 2006. – Vol. 25, № 1. – P. 29-39.

279. Valko M. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress induced cancer / M. Valko, C.J. Rhodes, M. Marcol Izakonic, M. Mazur // *Chem. Biol. Interact.* – 2006. – Vol. 160. – P. 1-40.

280. Van Amelsvoort L.G. Occupational determinants of heart rate variability / L.G. Van Amelsvoort, E.G. Schouten, A.C. Maan, C.A. Swenne, F.J. Kok // *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* – 2000. – Vol. 73, № 4. – P. 255-262.

281. Venditti P. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> production and response to stress conditions by mitochondrial fractions from rat liver / P. Venditti, I.R. Costagliola, S. DiMeo // *J. Bioenerg. Biomembr.* – 2002. – Vol. 34. – P. 115-125.

282. Warburton, D.E. Health benefits of physical activity: the evidence / D.E. Warburton, C.W. Nicol, S.S. Bredin // *Can. Med. Assoc. J.* – 2006. – Vol. 174, № 6. – P. 801–9.

283. Watanabe T. Effects of vital exhaustion on cardiac autonomic nervous functions assessed by heart rate variability at rest in middle aged male workers / T. Watanabe, Y. Sugiyama, Y. Sumi, et al. // *Int. J. Behav. Med.* – 2002. – Vol. 9, № 1. – P. 68-75.

284. Wen H. Reducing effect of aerobic exercise on blood pressure of essential hypertensive patients: A meta-analysis / H. Wen, L. Wang // *Medicine (Baltimore).* – 2017. – Vol. 96, № 11. – P. e6150.

285. Whelton S.P. Effect of aerobic exercise on blood pressure: a meta-analysis of randomized, controlled trials / S.P. Whelton, A. Chin, X. Xin, J. He // *Ann. Intern. Med.* – 2002. – Vol. 136. – P. 493-503.

286. Yu Y. Heart Rate recovery in hypertensive patients: relationship with blood pressure control / Y. Yu, T. Liu, J. Wu, et al. // *J Hum Hypertens.* – 2017. – Vol. 31, № 5. – P. 354-360.

287. Zhang B. Multivariate analysis of the prognostic determinants of the depressor response to exercise therapy in patients with essential hypertension / B. Zhang, T. Sakai, K. Noda, et al. // *Circ. J.* – 2003. – Vol. 67. – P. 579-584.

288. Zhang J. Effect of age and sex on heart rate variability in healthy subjects / J. Zhang // *J. Manipul. Physiol. Ther.* – 2007. – Vol. 30, № 5. – P. 374-379.