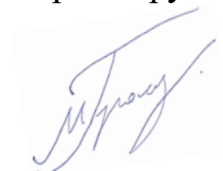


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

На правах рукописи



Громыко Михаил Васильевич

**Особенности произвольной регуляции функций нейромышечного аппарата
верхних конечностей у спортсменов в условиях нагрузочного тестирования
и восстановления**

1.5.5 – Физиология человека и животных

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук
Байгужин Павел Азифович

Челябинск – 2025

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ СПОРТСМЕНА.....	13
1.1. Физиологические основы произвольной регуляции усилий и движений.....	15
1.2. Нейродинамические, электромиографические и электроимпедансные параметры утомления и восстановления нейромышечного аппарата у спортсменов.....	20
1.3. Сравнительный анализ современных методов восстановления нейромышечного аппарата верхних конечностей у спортсменов	25
1.4. Особенности функционального (нагрузочного) тестирования нейромышечного аппарата верхних конечностей у спортсменов	32
ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	40
2.1. Организация исследования	40
2.2. Методы исследования.....	43
2.3. Интервальная динамометрическая функциональная проба	50
2.4. Характеристика срочной восстановительной процедуры	54
ГЛАВА 3. ОСОБЕННОСТИ РЕАКТИВНОСТИ ОРГАНИЗМА У СПОРТСМЕНОВ В ДИНАМИКЕ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ.....	55
3.1. Характеристика исходного состояния функциональных систем, обеспечивающих произвольную регуляцию движений и усилий у лиц групп сравнения	55
3.2. Анализ реактивности функциональных систем после воздействия нагрузочной пробы и периода восстановления	72
3.3. Взаимосвязь нейромышечных и нейродинамических показателей в группах сравнения до, после нагрузочной пробы и после 10-минутного периода восстановления	93

3.4. Оценка факторной структуры функциональных показателей у лиц обследованных групп в динамике функциональной пробы и восстановления.	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	122
ВЫВОДЫ	126
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	128
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	131

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Спорт как вид экстремальной деятельности создает уникальные условия формирования адаптации организма к нагрузкам различной направленности, интенсивности и объема. Спортивная специализация отражается в соответствующих методах и средствах повышения работоспособности (Балберова О.В. с соавт., 2020; Михальченков М.А. с соавт., 2020; Кудря О.Н. с соавт., 2022; Радченко А.С. с соавт., 2022; van Boxtel G.J.M. et al., 2024), а также технологиях, направленных на сокращение времени восстановления сниженных функций организма атлетов (Корягина Ю.В. с соавт., 2024; Гумеров И.И. с соавт., 2025; Колодезникова М.Г. с соавт., 2025; Malta E.S. et al., 2021).

Особое место в решении указанных задач занимают исследования механизмов произвольной регуляции функций нейромышечного аппарата верхних конечностей – ключевого звена в видах спорта, где техника «захватов» (зацепов) является определяющей в достижении спортивного результата (скалолазание, единоборства, спортивные игры и др.). В этой связи востребованными являются новые (модифицированные и альтернативные) подходы к исследованию механизмов произвольной регуляции функций (Коннов П.Е. с соавт., 2024; Еськов В. В. с соавт., 2024), а также способы оценки функциональных состояний организма спортсменов, обусловленные ростом современных цифровых технологий (Эрлих В.В. с соавт., 2020; Нопин С.В. с соавт., 2024; Barbosa G.M. et al., 2024).

Поиск и разработка современных способов срочного восстановления организма и ведущих функциональных систем являются перспективными направлениями в физиологии спорта и восстановительных процессов (Калмыков М.Л. с соавт., 2016; Левин М.Л. с соавт., 2023; Leabeater A.J. et al., 2024), при условии оперативной регистрации параметров реактивности организма (Иорданская Ф.А., 2022).

При этом механизмы и процессы, отражающие реактивность организма отличаются широкой вариабельностью даже при стандартизированной нагрузке (тренировочной, соревновательной, тестовой), зависят от факторов, которые, в свою очередь, определяют ее интенсивность и типизацию реакций (Бойков В.Л. с соавт., 2021). Акцентируется внимание и на психофизиологических особенностях спортсменов (Dai X. et al., 2025; Englert C., 2025), отражающих волевую и мотивационную сферы, определяющие результативность выполнения нагрузки. В таком случае оправданы исследования с применением функционального тестирования на малых, но однородных выборках обследованных, с тенденцией к персонализированному подходу к оцениванию реактивности организма (Бахарева А.С. с соавт., 2023).

Результаты современных исследований указывают на достаточную «предсказуемость» реактивности функциональной системы, в то время как восстановление ее элементов (например, отдельных тканей), определяемое как «готовность к получению аналогичного тренировочного стимула без негативных локальных и/или системных эффектов», значительно варьируется (Gabbett T.J. et al., 2025). Методологический подход к комплексной оценке в условиях функциональной пробы (нагрузочного тестирования) обеспечивает соответствующее качество анализа адаптационных резервов организма (Головин М.С. с соавт., 2022; Голобородько Е.В., 2023) и физиологических механизмов межсистемного взаимодействия при достижении максимального результата деятельности (Martins de Abreu R. et al., 2024; James A., 2025).

Актуальность исследуемой проблемы для физиологии спорта заключается в комплексном подходе к изучению механизмов произвольной регуляции усилий и движений, утомления и восстановления нейромышечного аппарата верхних конечностей у спортсменов, анализ которых позволяет разработать индивидуализированные программы функционального тестирования и восстановительных мероприятий, направленные на оптимизацию тренировочного процесса и профилактику переутомления.

Степень разработанности темы исследования. Перспективность данного направления исследований обусловлена появлением новых видов двигательной активности (Ткачева К.Н. с соавт., 2021; Wu D.Y. et al., 2025), методик тренировочных воздействий (Илларионова А.В. с соавт., 2022; Отмахов Д.В., 2024), а также технологий диагностики, обработки данных и их интеграции в комплексные системы управления функциональным состоянием организма (Герасименко Ю.П., 2023; Дятлов Д.А. с соавт., 2024; Нопин С.В., 2024; DeCouto B.S. et al., 2024).

Активно на основе физиологических данных о механизмах регуляции движений разрабатываются интерфейсы бионических систем (Liarokapis M. et al., 2025; Zhao X. et al., 2025). Совершенствуются компьютерные модели спортивных движений, которые учитывают индивидуальные параметры произвольной регуляции мышечных усилий и движений, составляющих технику движений спортсмена (Song S. et al., 2021; Yeadon M.R. et al., 2023).

Достаточно представлены результаты исследования физиологических процессов управления сложнокоординационными локомоциями у лиц обоих полов в зависимости от их спортивной квалификации и специализации (Маслова И.Н., 2019; Пискунов И.В. с соавт., 2021; Lyakh V. et al., 2023).

Очевидно, что совершенствованию методик тренировок, формированию технологий управления движениями, оптимизации элемента техники спортивного движения – предшествует диагностика состояния «обеспечивающей» функциональной системы – нейромышечного аппарата (Rokowski R. et al., 2021; Stien N. et al., 2022; Langer K. et al., 2023; Berta P. et al., 2025).

Однако мы акцентируем внимание на недостаточную разработанность арсенала нагрузочных тестов в сложнокоординационных видах спорта.

Немногочисленными являются как собственно методы и средства оперативного восстановления, особенно в видах спорта, предъявляющих повышенные требования к функционированию нейромышечного аппарата (скалолазание, спортивная и художественная гимнастики и т.п.) (He Y. et al., 2021;

Podlogar T., 2023), так и физиологических процессов, развивающихся при их воздействии.

Предложены частные эффективные методики, основанные на специфических дыхательных упражнениях, влияющих на кардиореспираторный синхронизм спортсменов-скалолазов (Anderson A., 2025); технологии ишемической прекондиции, повышающей толерантность к физической нагрузке в среднем на 20 % (MacDougall K.B. et al., 2023). Однако недостаточным и перспективным в указанных технологиях, в т.ч. по мнению авторов, является исследование физиологических процессов и механизмов срочных восстановительных процедур.

Считаем целесообразным поиск и объяснение механизмов восстановительных процессов в организме спортсменов именно в направлении исследования межсистемных взаимосвязей, как при достижении максимального спортивного результата, так и доказательства эффективности воздействия средств оперативного восстановления функционального состояния организма.

Таким образом, остаются неясными 1) физиологические эффекты средств оперативного восстановления работоспособности нейромышечного аппарата руки в видах спорта, основным техническим приемом в которых являются «захваты», «зацепы»; 2) в данном контексте востребованными являются специализированные нагрузочные тесты, позволяющие моделировать напряжение нейромышечного аппарата верхней конечности, вызванное специфической нагрузкой (интервальные изометрические сокращения), например, в скалолазании; 3) отсутствуют данные о межсистемных взаимосвязях показателей функциональной системы, обеспечивающей произвольную регуляцию усилий и движений руки в условиях нагрузочного тестирования и восстановления после него.

Цель исследования: выявить особенности произвольной регуляции функций нейромышечного аппарата верхних конечностей у спортсменов (скалолазов и единоборцев) в условиях нагрузочного тестирования и краткосрочного восстановления после него.

Задачи исследования:

1. Разработать и апробировать функциональную пробу, применяемую для объективной оценки показателей произвольной регуляции усилий мышц кисти.
2. Выявить особенности реактивности сердечно-сосудистой, нервной систем и нейромышечного аппарата у спортсменов после нагрузочного тестирования и в течение восстановительного периода.
3. Выявить особенности процессов краткосрочного восстановительного периода по показателям сердечно-сосудистой, нервной систем и нейромышечного аппарата у спортсменов.
4. Выявить предикторы эффективности воздействия механического массажа как средства оперативного восстановления функционального состояния нейромышечного аппарата у спортсменов.

Научная новизна исследования.

Разработана и апробирована оригинальная функциональная динамометрическая интервальная изометрическая проба для комплексной оценки силовой выносливости, динамики процессов утомления и восстановления нейромышечного аппарата верхних конечностей у скалолазов и единоборцев.

Внедрена и валидизирована методика применения механического (перкуSSIONного) массажа в качестве средства оперативного восстановления силовой выносливости.

Впервые выявлены разные системные стратегии адаптации к комбинированному воздействию (дозированная изометрическая нагрузка с перкуSSIONным массажем) у спортсменов различной специализации и нетренированных лиц.

Установлен феномен «отсроченной постуральной дестабилизации» у скалолазов, который проявляется не на пике нагрузочного воздействия, а в фазе раннего восстановления.

Показано, что комбинированное воздействие (физическая нагрузка с массажем) оказывает разнонаправленное влияние на вегетативный и

гемодинамический профиль: у единоборцев и неспортсменов доминирует реакция релаксации, а у скалолазов – реакция устойчивого функционального напряжения.

Впервые установлено, что перкуссионный массаж как восстановительная процедура обладает избирательной эффективностью: для единоборцев он является инструментом оптимизации и суперкомпенсации (улучшение эластичности мышц, точности РДО), для скалолазов – средством купирования периферического гипертонуса, а для неспортсменов – мощным стимулятором, нормализующим центральную нервную регуляцию (РДО) при недостаточной эффективности на системном уровне.

Выявлены предикторы эффективности механического массажа как средства оперативного восстановления (по результатам факторного анализа).

Доказано, что спортивная специализация формирует специфический «след» в произвольной регуляции движений и усилий: у единоборцев выявлена высокая и стабильная точность дозирования мышечного усилия, повышающаяся в восстановительном периоде, тогда как у скалолазов выявлена способность к мощной, но несколько менее устойчивой суперкомпенсации этого качества непосредственно после нагрузки.

Разработаны практические рекомендации по применению интервального динамометрического тестирования и перкуссионного массажа для мониторинга и коррекции функционального состояния спортсменов – представителей видов спорта, где основным элементом техники движений являются захваты, хваты и зацепы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные результаты исследования дополняют разделы спортивной физиологии, предметом исследования которых является механизмы произвольной регуляции движений и усилий; раскрывают качественно различные нейрофизиологические стратегии адаптации к нагрузке и восстановлению. Эмпирические данные имеют практическую значимость для прогнозирования направленности восстановительных реакций (в частности, срочному восстановлению), ассоциированных с уровнем тренированности и применением средств

восстановления; а также разработки рекомендаций по физиологическому мониторингу донозологических (преморбидных) состояний у спортсменов, проявляющихся в нарушении баланса процессов утомления и восстановления.

Основные результаты внедрены в практику деятельности тренерского состава при подготовке скалолазов в Южно-Уральском государственном университете, в учебный процесс на кафедре спортивного совершенствования Института спорта, туризма и сервиса Южно-Уральского государственного университета при чтении лекций по учебным курсам «Технология научных исследований в физической культуре» и «Психофизиологические и педагогические технологии спортивной деятельности» при подготовке магистрантов по направлению «Физическая культура».

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная функциональная проба в виде трех серий интервальной изометрической нагрузки на кисть является адекватным инструментом для оценки реактивности и резистентности систем произвольной регуляции усилий и движений.

2. Структура ответной реакции нервной, нейромышечной систем на нагрузочную пробу и последующее восстановление имеет различия у скалолазов и единоборцев.

3. Эффективность применения перкуссионного массажа в качестве средства оперативного восстановления определяется исходным функциональным состоянием и тренированностью обследованных лиц.

4. Эффективность восстановительного массажа отражается в структуре взаимосвязей вегетативных, психомоторных и показателей нейромышечного аппарата.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.
Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 1.5.5. Физиология человека и животных, отрасль: биологические науки. В частности, п. 3 «Закономерности и механизмы нервной и гуморальной регуляции, генетических, молекулярных, биохимических процессов, определяющих

динамику и взаимодействие физиологических функций»; п. 4 «Закономерности функционирования основных систем организма (нервной, внутренней секреции, иммунной, сенсорной, двигательной, крови, кровообращения, лимфообращения, дыхания, выделения, пищеварения, репродуктивной и др.) при различных состояниях организма» и п. 9 «Физиологические механизмы адаптации к различным формам, видам и условиям деятельности, в т. ч. – экстремальным. Разработка технологий адаптивного управления физиологическими функциями человека в экстремальных природно-климатических условиях»).

Выявление физиологических предикторов повышения функциональных возможностей и сокращения времени восстановления после физических нагрузок является комплексной проблемой, сформулированной в ряде задач фундаментальных и поисковых научных исследований (Программа фундаментальных научных исследований в РФ ..., 2020). В рамках направления «Физиология сенсорных и двигательных систем» востребованными являются исследования интегративных механизмов сенсорно-моторной регуляции позы и локомоции, а также управления двигательными возможностями человека.

Степень достоверности и апробации результатов исследования определяется корректностью использованных современных методов, специфичностью и достаточным количеством наблюдений, протоколом функционального тестирования и воспроизводимостью полученных результатов, а также согласованностью результатов с предыдущими исследованиями. Сформулированные научные положения и выводы основаны на фактических данных, продемонстрированных в приведенных в тексте диссертации таблицах и рисунках. Интерпретации полученных результатов предшествовало применение многомерных методов математико-статистического анализа данных.

Научные доклады по основным результатам исследования были представлены на научных форумах национального и международного уровней: «Актуальные медико-биологические проблемы спорта и физической культуры» (Волгоград, 2025); «Современные аспекты санаторно-курортного лечения, медицинской реабилитации и спортивной медицины» (Ессентуки, 2025);

«Цифровые технологии исследования образовательного процесса и творчества» (Казахстан, Актобе, 2025); «Физиология экстремальных состояний» (Курган, 2024); «Физиология человека» (Чебоксары, 2024); «Интегративная физиология» (Санкт-Петербург, 2024); «Инновации в спорте, туризме и образовании» (Челябинск, 2023, 2024); «Медико-физиологические основы спортивной деятельности на Севере» (Сыктывкар, 2023, 2025); «Совершенствование системы физического воспитания, спортивной тренировки, туризма, психологического сопровождения и оздоровления различных категорий населения» (Сургут, 2022); а также на итоговых конференциях профессорско-преподавательского состава Южно-Уральского государственного университета (2022–2025 гг.).

По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикаций результатов диссертационных исследований, из них 1 статья в журнале, индексируемом в базах данных цитирования Web of Science и Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы (231 источник, из них 91 на иностранном языке). Диссертация иллюстрирована 20 таблицами и 10 рисунками. Объем работы – 160 страниц.

ГЛАВА 1. ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ СПОРТСМЕНА

Физиологические основы произвольной регуляции усилий и движений являются сложным взаимодействием различных систем организма, включая нервную, мышечную и эндокринную, эти системы работают совместно для обеспечения координации и контроля движений, а также адаптации усилий в зависимости от внешних условий и внутренних потребностей организма (Садчикова Ж.Н., 2009).

Во главе управления движениями стоит центральная нервная система (ЦНС), играющая ключевую роль в произвольном контроле движений (Баев К.В., 1984; Герасименко Ю.П., 2000). Основные центры, отвечающие за моторику, расположены в моторной коре и премоторной области. Моторная кора отвечает за планирование и выполнение движений, а также за регуляцию силы усилий, получает информацию из различных сенсорных систем и адаптирует движения в соответствии с требованиями (Молчановский В.В., 2013).

Следующим подуровнем является периферическая нервная система, передающая сигналы от ЦНС к мышцам и обратно, обеспечивая выполнение команд, данных от головного мозга, включает как соматическую, так и вегетативную нервную системы, влияющие на произвольные и непроизвольные движения.

Произвольные движения реализуются с помощью моторных единиц, в частности, с помощью скелетных мышц, сигналы от мотонейронов в спинном мозге запускают сокращение мышечных волокон (Баев К.В., 1984; Герасименко Ю.П., 2000; Молчановский В.В., 2013), регуляция силы сокращения происходит через набор включения мышечных единиц (мышечных волокон), в зависимости от необходимой силы усилия, более сильные усилия требуют участия большего числа единиц.

На физическую производительность и уровень усилия, необходимого для выполнения задач, влияет эндокринная система, которая адаптирует обмен

веществ и энергозатраты (Виру А.А., 1981) в зависимости от уровня нагрузки. Гормоны могут также влиять на уровни стресса и усталости, что непосредственно отражается на способности к произвольной регуляции усилий.

Для успешного функционирования и реализации произвольных движений важную роль играют сенсорные рецепторы (Солодков А.С., 2005), расположенные в мышцах, суставах и коже, они помогают регистрировать информацию о положении тела и силе прикладываемых усилий, также данные системы позволяют производить корректировку действий. Проприоцепция, чувство положения и движения частей тела, играют решающую роль в координации и точности движений. Сенсорная информация, связанная с результатами выполнения двигательных действий и поступающая через нейронные пути обратной связи, используется нервными центрами для уточнения временных, пространственных и силовых характеристик двигательных актов, впоследствии данная информация служит основанием для внесения корректировок в исполняемые команды, известных как сенсорные коррекции (Бернштейн Н.А., 1947; Прибрам К., 1975).

Физиологические механизмы координации движений человека попали в фокус исследователей достаточно давно. На основе изучения взаимодействия нескольких рефлекторных реакций С.С. Sherrington (1906) сформулировал общие положения об интегративной деятельности нервной системы и ввел понятие координации, которое обозначает согласование во времени и пространстве отдельных рефлексов как составных единиц нервной интеграции.

Исследования показали важность различных структур нервной системы в регулировании двигательной активности (Коц Я.М., 1975; Персон Р.С., 1985). Были установлены основные принципы двигательной координации (Рокотова Н.А., 1975), а также разработаны концепции (теории), объясняющие механизмы координации движений (Бернштейн Н.А., 1947; Анохин П.К., 1975). Эти данные предоставляют возможность для углублённого и комплексного анализа физиологических процессов, лежащих в основе координационных способностей,

что, в свою очередь, открывает новые горизонты в разработке методов и средств направленного их развития.

1.1. Физиологические основы произвольной регуляции усилий и движений

Опыт принятия решения, связанный с добровольным началом действия, является ключевым элементом повседневной жизни. Исследования произвольной регуляции усилий и движений представляют особенный интерес для физиологии, подчеркивают сложность взаимодействия между нервной, мышечной и сенсорной системами, влияние психических процессов на контроль движений.

В фундаментальной модели «Теория функциональных систем» введенной П.К. Анохиным (1975), описывающей структуру поведения рассматриваются системы двух типов – внутренних ресурсов и взаимодействия с внешним миром.

Теория функциональных систем раскрывает универсальные принципы системной организации функций организма человека и предоставляет конкретные возможности для анализа различных классов поведенческих реакций. В частности, положения данной теории нашли применение у ряда исследователей для анализа механизмов управления произвольными движениями различной координационной сложности у спортсменов (Городничев Р.М. с соавт., 2008, 2016; Фудин Н.А. с соавт., 2018).

При исследовании механизмов регуляции двигательной активности человека особое внимание уделяется значению концепции «схемы тела»: данная идея была введена в научный оборот в начале XX века и обеспечивает конкретные возможности для анализа поведенческих реакций, включая произвольную двигательную активность (Городничев Р.М. с соавт., 2016).

В исследовании двигательной системы выделяют концепцию feedforward-регуляции, подразумевающую предвосхищение последующего двигательного акта (Герасименко Ю.П. с соавт., 2017). Процесс постоянного сопоставления результатов поведения с указанными программирующими механизмами, а также обновление содержания самого программирования, служит основой

целенаправленности поведения индивида, поведенческий акт при этом характеризуется активной ролью субъекта, который участвует в процессе формирования своего поведения. Медленнорастущая преддвигательная активность, наблюдаемая в рецептивном поле, давно была выявлена как специфический и целенаправленный подготовительный сигнал, который приводит к реализации произвольного движения (Shibasaki H. et al., 2006).

Современные представления об управлении движением поддерживают теорию взаимосвязи всех сенсорных систем организма, в статических условиях основную роль играют вестибулярный и зрительный анализаторы, в то время как в динамических безопорных положениях, таких как невесомость или прыжки, ведущее значение приобретает проприоцептивная чувствительность.

Таким образом, основой сложной координационной деятельности является многоуровневое координированное взаимодействие системы проприоцепторов (динамических анализаторов) с вестибулярным анализатором, органами зрения и центральной нервной системой (Slobounov S. et al., 2006; Бредихина Ю.П. с соавт., 2015). Управление движениями осуществляется в результате комплексного взаимодействия различных отделов центральной нервной системы, которое основано как на врожденных, так и на приобретенных нервных связях, с активным участием множества рецепторных систем, основная суть координации движений заключается в такой временной и пространственной организации процессов возбуждения и торможения в мышечном аппарате, которая обеспечивает успешное выполнение двигательной задачи (Рокотова Н.А., 1975).

Система движений характеризуется значительным количеством степеней свободы, что, с одной стороны, создает широкий спектр двигательных возможностей, а с другой – делает управление движениями весьма сложной задачей. В каждом конкретном движении задействуются лишь определенные степени свободы, в то время как ЦНС должна постоянно контролировать и ограничивать все остальные степени свободы для обеспечения устойчивости позы. В том числе, в условиях функционального нарушения опорно-двигательной системы: нарушения осанки и свода стоп (Литовченко О.Г. с соавт., 2022).

На достижение конечной цели – выполнения движения – влияют не только силы, развиваемые мышцами, но и инерционные силы, возникающие в различных участках тела, задействованных в движении, а также эластическое сопротивление, создаваемое мышцами-антагонистами и связками (Епишев В.В. с соавт., 2017). При осуществлении любого движения происходит смещение различных звеньев двигательного аппарата и изменение положения тела, что сопровождается изменением моментов упомянутых сил. Наличие изменений в суставных углах также влечет за собой изменения моментов мышечных сил.

Кроме того, на динамику движения оказывает влияние сила тяжести, действующая на звенья тела, моменты которой также изменяются в процессе выполнения движений (Кубряк О.В., 2022). Таким образом, для эффективного осуществления движений необходима корректировка по ходу выполнения, основанная на показаниях, получаемых от рецепторов.

В управлении движениями выделяют два ключевых механизма, при осуществлении любого движения в центральной нервной системе (ЦНС) формируется определенная пространственно-временная структура мышечного возбуждения (Моисеев С.А. с соавт., 2021). Это происходит на основе, как врожденных нейронных связей, так и тех, которые были выработаны в процессе предыдущего двигательного опыта. Эта структура соответствует конкретной двигательной задаче и начальному положению двигательного аппарата. Во-вторых, важнейшим элементом управления движениями является процесс внесения корректив в исходную структуру мышечного возбуждения в ходе выполнения действия (Бернштейн Н.А. с соавт., 1900). В ответ на сигналы, поступающие от проприоцептивной системы, центральная нервная система изменяет свои эффекторные импульсы, осуществляя координацию активности активируемых мышц с условиями внешнего силового поля и внося необходимые коррективы в первоначально заданный двигательный импульс (Бернштейн Н.А. с соавт., 1900). Чтобы описать данные феномены, можно использовать терминологию: первый механизм обозначается как «программа», а второй – как «коррекции», основанные на обратных связях.

Неотъемлемой частью процесса произвольного сокращения мышц являются сокращения скелетных мышц различных типов, которые обусловлены специфическими механизмами и сопряжены с разнообразными функциональными изменениями. В частности, эксцентрическое сокращение характеризуется активностью меньшего количества двигательных единиц и сниженной частотой их импульсации по сравнению с другими типами сокращений (Pasquet B. et al., 2006). При данном типе сокращения наблюдается более высокая сила на единицу поперечного сечения мышцы, чем при изометрическом и концентрическом сокращении. Форма участия различных мышц в осуществлении двигательных актов значительно варьируется, анатомическая классификация мышц (например, сгибатели и разгибатели, синергисты и антагонисты) не всегда соответствует их функциональной роли в движениях: так, некоторые двухсуставные мышцы могут выполнять роль сгибателей в одном суставе и разгибателей в другом (Городничев Р.М. с соавт., 2022). Более того, антагонисты могут быть активированы одновременно с агонистами для достижения точности движения, что в свою очередь способствует успешному выполнению двигательной задачи. Учитывая функциональный аспект мышечной координации, в каждом конкретном двигательном акте целесообразно выделять основную мышцу (главный двигательный элемент), вспомогательные мышцы (синергисты и другие мышцы, способствующие выполнению двигательной задачи), а также стабилизаторы, которые обеспечивают необходимую стабильность и равновесие при выполнении движений (Ненахов И. Г., 2018).

При преодолении какого-либо внешнего сопротивления и выполнении усилия в организме происходят значительные физиологические изменения, увеличивается частота сердечных сокращений и дыхания, что обеспечивает повышенный приток кислорода к работающим мышцам и способствует удалению углекислого газа и метаболитов (Корягина Ю.В. с соавт., 2014; Городничев Р.М. с соавт., 2016). Усилие требует затрат энергии, которая в мышцах высвобождается путем распада аденозинтрифосфата (АТФ), а также других энергетических субстратов, таких как креатинфосфат, гликоген и жирные кислоты (Ершов Ю.А.,

2010; Михайлов С.С., 2006), при продолжительных физических нагрузках наблюдается изменение метаболических путей, так как организм начинает использовать различные источники энергии в зависимости от продолжительности и интенсивности усилия (Балберова О.В. с соавт., 2022). Избирательное воздействие на отдельные компоненты функциональной подготовленности спортсмена позволяет увеличить вероятность достижения спортсменом «пика спортивной формы» к моменту главных стартов сезона.

Длительное удержание одной и той же величины усилия приводит к повышению активности в моторной системе, увеличивая ее потенциал (Романов С.П. с соавт., 2012; Жуков В.И., 2019). На уровне нейрофизиологии усилие связано с активацией мышечных волокон через нейронные импульсы. Это включает в себя как альфа-мотонейроны, которые иннервируют скелетные мышцы, так и дополнительные нейронные механизмы, регулирующие тонус и координацию движений (Денисенко Ю.П., с соавт., 2011). В процессе выполнения усилия может также наблюдаться явление центральной или периферической утомляемости, проявляющееся в снижении силы и выносливости.

Последние исследования в области физиологии движения демонстрируют, что скорость овладения двигательными навыками, эффективность компенсаторных реакций, стабильность и надежность удержания качественных параметров произвольных движений в оптимальном диапазоне под воздействием сбивающих факторов и помех, а также усиление роли программного механизма в системе управления произвольным движением в стабильных условиях его реализации могут рассматриваться как критерии оценки высоких резервных возможностей моторной системы испытуемых (Приймаков А.А. с соавт., 2015).

Несмотря на то, что вопрос произвольной регуляции движений у человека исследован достаточно глубоко, данный аспект физиологии остаётся актуальным, современные технологии и постоянное совершенствование методов исследования позволяет углублять наше понимание взаимодействия систем организма для реализации и этой сложной функции, а также способствует выявлению процессов адаптации к той или иной среде.

1.2. Нейродинамические, электромиографические и электроимпедансные параметры утомления и восстановления нейромышечного аппарата у спортсменов

Утомлением считают краткосрочное понижение работоспособности организма или иных его систем, наступающее в результате работы и исчезающее после отдыха (Моногаров В.Д., 1986; Дементьев К.Н., 2023).

Известно, что интенсивность и объем тренировочного процесса для повышения спортивной работоспособности занимающихся имеет свои физиологические пределы (Солодков А.С. с соавт., 2007).

Во время тренировок происходят сокращения скелетной мышцы накапливаются продукты метаболизма, такие как фосфорная и молочная кислоты, которые оказывают угнетающее влияние на функциональные свойства мышечных волокон, значительная часть этих метаболитов, а также ионы калия диффундируют из мышечных волокон в околочлеточное пространство, что негативно сказывается на способности возбудимой мембраны генерировать потенциалы действия (Циркин В.И, 1972; Ершов Ю.А, 2010; Михайлов С.С., 2004; Селезнева И.С., 2019).

Другая причина, способствующая возникновению утомления изолированной мышцы, заключается в постепенном истощении энергетических запасов. При продолжительной сократительной активности наблюдается значительное снижение запасов гликогена, что приводит к нарушению процессов ресинтеза АТФ и креатинфосфата, необходимых для поддержания сократительной функции мышцы (Волков Н.И., 2000).

Утомление нейромышечного аппарата можно рассматривать как сложный процесс, в который вовлечены как центральные, так и периферические механизмы, оно влияет на способность мышц к генерации силы, а также на координацию движений и точность выполнения двигательных умений, в процессе интенсивной физической активности наблюдается снижение частоты импульсации мотонейронов, что ведет к уменьшению силы сокращений мышц (Городничев Р.М. с соавт., 2022).

Биомеханические аспекты работы верхних конечностей при выполнении изометрических нагрузок достаточно изучены. Мышечно-связочное взаимодействие в механизмах сгибания и разгибания пальцев зависят от пространственно-временных и качественных характеристик приложения силы (проявления усилия), что сказывается и на вегетативном обеспечении работы указанных механизмов. Разработанные биомеханические модели позволяют оценить влияние механизма «сгибания – разгибания» при различных условиях нагрузки, а также дифференцировать вклад внутренних и внешних сгибателей пальцев во время изометрического сгибания (Li Z.-M. et al., 2001). Это важно учитывать при формировании программ тренировочных нагрузок в видах спорта, где «хваты» и «зацепы» являются основой техники движений спортсмена.

Физиологические механизмы системы «сгибания – разгибания» пальцев также достаточно сложны из-за множества компонентов указанной системы: «взаимодействия» сухожилий, нервов, сосудов (Thompson, S.T. et al., 1995); особенностей экскурсии сухожилий (Ugbolue U.C. et al., 2005), в целом – механизма управления мотонейронными пулами мышц-антагонистов предплечья (Ren H. et al., 2025) и т.п.

Существенные изменения наблюдаются и в активности подкорковых структур, которые отвечают за регуляцию двигательной активности, что может проявляться в инкретивной реакции утомления, связывающей мотивацию и физическую работоспособность.

Рассматривая параметры утомления и восстановления, невозможно пройти мимо методологической части, где критерии оценки утомления и восстановления в электромиографии будут включать скорость распространения возбуждения по мышечным волокнам. *Электронейромиография* позволяет выявить тонус мышц, а также мышечный дисбаланс и асимметрию (Шевцов А.В. с соавт., 2009).

В исследованиях показано, что динамическое утомление вызывает подавление спонтанной мышечной активности и увеличение амплитуды ЭМГ (Попова Т.В. с соавт., 2017). При работе в субмаксимальном режиме биоэлектрическая мышечная активность растет постепенно и ее пик совпадает с

утомлением, что подтверждают последние исследования (Пигарева С.Н. с соавт., 2020). Соответственно параметрами утомления будет считаться пиковая амплитуда мышечной активности с последующим спадом. Критерием восстановления будет считаться восстановление потенциалов с возможностью повторять работу.

Диагностическая ценность электромиографии повышается при использовании комплекса, комбинации инструментов оценки функционального состояния нейромышечного аппарата. Так, в работе W.-H. Kwong с соавторами (2024), дополнительно использовалась ближняя инфракрасная спектроскопия и исследовалась взаимосвязь параметров насыщения гемоглобина кислородом и выносливости мышц во время виса скалолазов на руках.

Комбинированный анализ ЭМГ и механомиограммы выявил значительные различия в стратегии активации двигательных единиц у скалолазов (Esposito F. et al., 2009). Полученные авторами результаты подтверждают гипотезу о смещении активности мышц скалолазов в сторону более быстрых двигательных единиц.

Стоит отметить, что изменения в функциональном состоянии центральной и периферической нервной системы, происходят как в процессе физической нагрузки, так и в период восстановления (Классина С.Я. с соавт., 2015). Восстановление нейромышечного аппарата может включать полный или частичный возврат к исходному уровню активности мотонейронов, интересно, что окончательное восстановление связано не только с восстановлением энергетических ресурсов, но и с репаративными процессами в нейронных цепях.

Определение *электроимпедансных* параметров является перспективным, но малоисследованным способом оценить процессы утомления и восстановления у спортсменов. Во время тренировочного процесса меняется баланс жидкостных сред организма, общее количество воды в организме и, как следствие, комплексная проводимость зарядоносителей, что, в свою очередь, гипотетически позволяет отследить функциональное состояние испытуемых. Например, установлено, что сгибания конечности вызывают уменьшение скорости дегидратации нагруженных мышц в период активного восстановления и

противодействуют оттоку жидкости в сторону туловища. Так, активное восстановление способствует притоку жидкости в активные мышцы и ее сохранению, что обеспечивает их более эффективное восстановление (Мельников А.А. с соавт., 2021).

Наиболее перспективной группой для практической части настоящего исследования будут предполагаться тренированные атлеты с низким процентом жировой ткани в организме (гимнасты, скалолазы, единоборцы и т.п.), так как электропроводимость растет по мере увеличения общей воды в организме и снижения количества жира и, таким образом, выходит на стабильные показатели (Батыршина Г.Р. с соавт., 2013).

Из вышеприведенного можно заключить, что жидкие компоненты организма характеризуются высокой электропроводимостью, в то время как жировая ткань демонстрирует низкие значения этого показателя (Николаев Д.В. с соавт., 2009).

Увеличение электропроводимости тканей способствует более оперативной доставке энергоносителей, что критически важно для эффективной работы всех функциональных систем организма (Martinsen O.G. et al., 2023). Ответная реакция организма на различные возмущения как эндогенного, так и экзогенного происхождения зависит от комплексной электропроводимости, которая объединяет электронную и ионную проводимость (Батыршина Г.Р. с соавт., 2013).

При восстановлении происходит реабилитация нормального распределения воды внутри- и внеклеточного жидкостного пространства, гидратация тканей возвращается к нормальному уровню, что улучшает проводимость и фазы импеданса. Фазовый угол постепенно возвращается к значениям, характерным для высокого качества клеточной мембраны. Восстанавливаются энергетические запасы (гликоген и АТФ) в мышцах, нормализуется кислотно-щелочное равновесие, что также влияет на электрические характеристики тканей (Батыршина Г.Р. с соавт., 2013).

К настоящему времени разработаны модельные психофизиологические характеристики спортсменов различных специализаций (Нопин С.В. с соавт.,

2020; Быков Е.В. с соавт., 2022; Borysova O. et al., 2019). *Нейродинамические параметры*, характеризуют психофизиологическое состояние, при этом отражают активность нервной системы и выражены в изменении скорости передачи нервных импульсов, уровне активности различных отделов мозга, а также в нервном и мышечном тонусе. Мышечное усилие (сила мышц-сгибателей пальцев кисти) является ведущим фактором, определяющим результативность тренировочных и соревновательных упражнений в целом ряде видов спорта: фехтовании (Зиамбетов В.Ю., 2021); велосипедном (Воронов А.В. с соавт., 2021) и гиревом спорте (Пинчук Е.А. с соавт., 2022), единоборствах (Захаров А.А. с соавт., 2020), скалолазании (Vigouroux L., 2015; Skriver S.A. et al., 2025) и др.

Характеризуя психофизиологические параметры произвольной регуляции мышечных усилий, нельзя недооценивать ведущий фактор, отражающий комплекс показателей волевой и мотивационной сфер личности спортсмена (Гавришова А.В. с соавт., 2019). Однако в рамках физиологической науки мы указываем лишь на взаимосвязь объективных показателей, например, таких как кистевая динамометрия и возбудимость ЦНС (Скоморох С.Е., 2015).

Утомление приводит к снижению скорости передачи нервных импульсов. При слабой нервной системе утомление вследствие психического или физического напряжения возникает быстрее, чем при сильной (Чэнь И. с соавт., 2022). Это может быть связано с истощением запасов нейромедиаторов, таких как ацетилхолин, которые отвечают за передачу сигналов между нервами и мышцами. При сокращении разных групп мышц происходит различное утомление, например, исследования показали, что эксцентрическое сокращение сопровождается минимальными метаболическими изменениями (Bonde-Peterson F. et al., 1972) и более выраженным снижением возбудимости кортико-спинального тракта (Abbruzzese G. et al., 1994; Sekiguchi H. et al., 2003; Chye L. et al., 2010). Кроме того, это сокращение вызывает значительное подавление моносинаптической (Romano C. et al., 1987) и полисинаптической рефлекторной возбудимости мотонейронов спинного мозга (Nakazawa K. et al., 2007) по сравнению с концентрическим сокращением.

В процессе утомления изменения могут быть также связаны с изменениями в ионных каналах нейронов, что приводит к затруднениям в активации мышечных волокон. Также утомление может приводить к снижению уровней активности в коре головного мозга, что снижает способность к концентрации и увеличивает время реакции (Фролова А.С. с соавт., 2018). Это отражается в изменении параметров электромиографии, где наблюдается снижение амплитуды и изменения в частотном спектре активности. Нервная система адаптируется к нагрузкам, и в процессе утомления может происходить гипотония или гипертонус, что отражает усталость мышц и общую степень утомления.

Процесс восстановления включает в себя нормализацию нейродинамических параметров, что можно наблюдать после завершения физической нагрузки, скорость передачи нервных импульсов восстанавливается, что способствует улучшению координации и быстроты движений. Поддержка и восстановление концентрации нейротрансмиттеров способствует возврату к нормальным значениям проводимости.

1.3. Сравнительный анализ современных методов восстановления нейромышечного аппарата верхних конечностей у спортсменов

Методы срочного восстановления мышечного аппарата активно изучаются физиологами. Давно известен опыт, в рамках которого изолированная мышца долгое время подвергается раздражению в ограниченном объеме раствора Рингера до достижения полного утомления. Смена омывающего раствора позволяет восстановить её сократительную активность (Звёздочкина Н.В., 2004).

В целом методы срочного восстановления представляют собой комплекс мер, направленных на ускорение процесса после интенсивных физических нагрузок (Корягина Ю.В. с соавт., 2019; Третьяк А.Н., 2009).

Анализ исследований, посвященных срочному восстановлению у спортсменов, в частности скалолазов, выявил некоторые наиболее актуальные

направления, такие как массаж (в т.ч. аппаратный), акупунктура (иглоукалывание) и применения воздушной смеси с повышенным содержанием кислорода.

Важным маркером срочного восстановления является время биохимических процессов: восстановление O_2 -запасов в организме (от 10 до 15 секунд); алактатных анаэробных резервов в мышцах (от 2 до 5 мин); устранение молочной кислоты (от 0,5 до 1,5 часов); ресинтез внутриклеточных запасов гликогена и восстановление его запасов в печени (от 12 до 48 часов) (Белянская И.М. с соавт., 2022). Согласно указанным данным, к срочным методам восстановления относятся средства, направленные на восстановление O_2 -запасов в организме, алактатных анаэробных резервов в мышцах. При этом, восстановительные средства, отличающиеся срочным эффектом, немногочисленны.

Массаж является одним из наиболее распространённых и эффективных средств восстановления и может быть различного типа (Тапхаров М.В., 2014), включая спортивный массаж, расслабляющий массаж и терапевтический массаж, гидромассаж и т.п., он способствует улучшению кровообращения, снятию мышечного напряжения и ускорению метаболизма в мышцах. В работе И.М. Белянская (2022) уточняет, что сущность массажа заключается в целенаправленном механическом воздействии на ткани человеческого организма, осуществляемом с использованием определённых методик, применяемых как вручную массажистом, так и с помощью специализированных аппаратов. Массаж по степени воздействия условно подразделяют на локальный (местный, отдельные ткани / конечности) и общий (Белянская И.М., 2022).

Характеризуя методы срочного восстановления можно утверждать, что наиболее универсальными и исследованными считаются методы классического массажа. Например, в работе Е.А. Сергиевича (2021) «Методика ручного массажа, используемая в единоборствах после тренировочных занятий большого объема и интенсивности, направленных на совершенствование скоростно-силовых и тактико-технической подготовки в стойке и партере», рассматривалось влияние массажа на ускорение процессов восстановления у спортсменов в подготовительном периоде. В результате проведения сеанса массажа,

ориентированного на мышцы, был отмечен «срочный» эффект восстановления, в то время как массаж, проведенный с акцентом на соединительные структуры, связочный аппарат и сухожилия, оказал «отставленный» эффект восстановления.

В дополнение к вышесказанному, сеансы ручного массажа, выполненные в соответствии с методиками первого и второго вариантов, продемонстрировали положительное влияние на снижение систолического артериального давления. Авторами было обнаружено значимое снижение тонуса напряженных мышц после сеанса ручного массажа, положительное воздействие на силовую выносливость борцов, которая увеличилась в среднем на 6,7 секунды, и увеличение силовой выносливости на 8,9 секунды.

Нельзя не отметить, что в последние годы применение кислородных смесей с повышенным содержанием кислорода привлекает внимание исследователей в области спортивной медицины и физиологии, в условиях повышенной гипероксии активизация метаболических процессов в организме может способствовать более эффективному восстановлению после физической нагрузки. Гипероксия обеспечивает высокую парциальную напряженность кислорода в альвеолах и, следовательно, в артериальной крови, это приводит к улучшению диффузии кислорода в ткани, что особенно важно для активно работающих мышц, требующих повышенной кислородной поддержки в условиях интенсивной физической нагрузки (Михалев В.И. с соавт., 2013). Известно, что газообмен в тканях осуществляется по аналогичному принципу, как и в легких, артериальная кровь транспортируется к тканям, где в результате непрерывно протекающих окислительных процессов происходит потребление кислорода и выделение углекислого газа. (Садчикова Ж.Н., 2009), поэтому способ восстановления с помощью оксигенации представляется перспективным методом.

Эффективным средством восстановления является ингаляция воздушной смеси с повышенным содержанием кислорода (гипероксия). Так, Д.Ф. Алиевым (2023) на 60 пловцах (средние дистанции), показано, что при ингаляции кислородной смеси уже на 10-й минуте отмечено статистически значимое

снижение частоты сердечных сокращений, систолического артериального и пульсового давления на фоне увеличения диастолического (Алиев Д.Ф., 2023).

Также в исследовании J. Suchý с соавторами (2010) было проведено исследование влияния повышенного содержания кислорода на восстановление спортсменов. Источником концентрированного кислорода служил O-PUR (Oxyfit). Испытуемые выполнили два 30-секундных Wingate теста с 10-минутным интервалом, а в перерыве между тестами испытуемые вдыхали либо кислород, либо плацебо в случайном порядке. Затем эту процедуру повторили. Пилотное исследование выявило значительно меньшее падение производительности во втором тесте Wingate после вдоха 99,5 % кислорода по сравнению с плацебо (Suchý J. et al., 2010). Можно утверждать, что вдыхание кислорода может оказать положительное влияние на краткосрочные процессы восстановления.

В диссертационном исследовании А.Ш. Абуталимова (2023), механотерапия позиционируется как специализированный метод, направленный на восстановление функциональных возможностей организма после интенсивных физических нагрузок или травм. Метод основывается на использовании механических факторов (растяжение, сжатие и колебание), и позволяет активировать и оптимизировать процессы регенерации тканей и восстановление функций опорно-двигательного аппарата.

Современные подходы к механотерапии включают применение разнообразных приспособлений и устройств, таких как тренажеры, массажные аппараты и устройства для дозированной нагрузки. Эти инструменты позволяют регулировать интенсивность и характер механического воздействия, что делает возможным адаптацию методов механотерапии к индивидуальным характеристикам занимающегося, его физическому состоянию.

Характеризуя методы срочного восстановления с помощью механотерапии, отмечаем другое исследование А.Ш. Абуталимова с соавторами «Срочные эффекты применения роботизированной механотерапии в период восстановления после интенсивных физических нагрузок у легкоатлетов» (2023), в котором представлены эффекты альтернативных методов срочного восстановления: гидро-

прессо-, магнитотерапии. Авторами выявлено значимое увеличение силы мышц-разгибателей левого коленного сустава, при значительном снижении коэффициента утомления справа у квалифицированных легкоатлетов после применения указанных методов.

Популярным в практике восстановления спортсменов является аппаратный перкуссионный массаж – процедура, принцип действия которой основан на воздействии поступательных движений насадки аппарата на определенную область тела человека с целью улучшения крово- и лимфообращения, снижения болевого синдрома, проработки триггерных точек, расслабления. Воздействие на ткани со сравнительно высокими частотой, амплитудой и силой существенно уменьшают нагрузку на руки массажистов и позволяют охватить относительно большие области за более короткое время процедуры.

Проведенный нами анализ результатов работ, в которых предметом исследования были физиологические эффекты перкуссионного массажа, выявил немногочисленные исследования его как средства мобилизации, повышения работоспособности и восстановления (Громыко М.В. с соавт., 2025).

Среди неспецифических эффектов выделяют улучшение кровотока, снижение миофасциальных ограничений (мышечных жесткости и боли), прирост диапазона движений, сокращение времени восстановления в зависимости от протокола исследования. Среди специфических эффектов воздействия перкуссионным массажем, выделяют стимуляцию сателлитных миобластов, показателей изометрической и динамической силы, постурологического баланса, а также производительности мышц конечностей и другие. Указанные эффекты, равно как и противоречивость результатов исследований воздействия перкуссионным массажем, обусловлены дизайнами исследований и, в частности, вариациями трех параметров: частоты ударных движений (Гц), глубины (мм), что также может быть выражено в единицах усилия давления и продолжительности воздействия (мин, с). Так, например, частота воздействия 26 Гц способствует улучшению паттернов нервно-мышечного рекрутирования; менее 18 Гц –

отмечаются эффекты мышечной релаксации, а частота воздействия выше 50 Гц приводит к мышечной болезненности и гематомам (Rittweger J. et al., 2003).

В исследовании А. Konrad с соавторами (2020) целью было изучение влияния 5-минутной перкуссии икроножных мышц на диапазон движений и максимальный момент произвольного сокращения подошвенных сгибателей. До и после воздействия с помощью динамометра измеряли дорсифлексию (уменьшение угла сгибания) и крутящий момент произвольного сокращения мышц подошвенных сгибателей. Максимальный диапазон движений дорсифлексии значительно увеличился с большой величиной после массажного воздействия, тогда как в контрольной группе изменений не произошло.

В работе S.W. Cheatham с соавторами (2021) описаны методические особенности и предпочтения использования перкуSSIONного массажного пистолета 425 медиками: из них 62 % – использовали среднюю и низкую скорости работы устройства для периодов до и после тренировок, 59 % – модуляции боли и 52 % – миофасциальной подвижности. Большая часть респондентов предпочла общее время лечения от 30 секунд до трех минут (36-48 %) или от трех до пяти минут (18-22 %) (Cheatham S.W. et al., 2021).

К настоящему времени подготовлено около десятка обзоров, предметом исследования которых являлись эффекты воздействия перкуSSIONным массажным пистолетом. Так, например, в систематическом обзоре «Влияние массажных пистолетов на производительность и восстановление», подготовленном R.M. Ferreira с соавторами (2023), отмечены повышение эластичности подвздошно-поясничных мышц, подколенных сухожилий, трехглавых мышц сурального типа и мышц задней цепи (бицепсы бедра, ягодичные, разгибатели спины). В результатах, отражающих восстановительные процессы, перкуSSIONные массажные пистолеты позиционируются как эффективный инструмент снижения утомления, скованности, увеличения амплитуды движений и повышения силовых показателей. Учитывая, что к настоящему времени разработано достаточное количество протоколов обследований, перспективным направлением исследований, на наш взгляд, является оценка физиологических

эффектов оперативных восстановления и повышения производительности спортсменов в ходе выполнения интервальной нагрузки, характерной для представителей видов спорта различной направленности.

Мало изученными остаются физиологические механизмы, ответственные за эффекты массажных пистолетов. Выявленные физиологические реакции обусловлены тремя основными механизмами: нейронным, сосудистым и механическим (Громыко М.В. с соавт., 2025).

Метод срочного восстановления в контексте активного отдыха представляет собой выполнение специфических видов физических упражнений, направленных на стимулирование процессов восстановления и активизации отдыха. В этой связи в научной практике обоснованно применяется специализированный комплекс легких двигательных упражнений (от 5 до 6 упражнений), который осуществляется в умеренном темпе и сочетается с глубоким дыханием, а также с техникой расслабления крупных мышечных групп (Новикова Т.Г. с соавт., 2015).

Известно, что основным способом восстановления при активном отдыхе является переключение активности между различными мышечными группами, что способствует более продолжительному поддержанию работоспособности, как отдельных мышечных групп, так и всего организма в целом. Исследования показали, что увеличение динамической активности мышц может быть достигнуто посредством одновременного статического напряжения антагонистических мышц, расположенных в противоположной конечности (Ярмухаметова А.А. с соавт., 2019).

Приведенные в данном фрагменте диссертации методы демонстрируют эффективность срочного восстановления спортсменов при условии их специализации и направленности (Хорева О.Ю. с соавт., 2017). Так, гипероксия наиболее эффективна для спортсменов, занимающихся нагрузкой аэробного характера (например, бег, футбол, баскетбол, гребля), классический массаж универсален, но играет роль при воздействии на мышечные группы и «не решает» вопрос с погашением кислородного долга (как, например, с использованием воздушной смеси с повышенным содержанием кислорода). Механотерапия

может быть эффективна для восстановления множества мышечных групп и нормализации кровотока, но требует большого количества аппаратно-программных средств. Иглоукалывание не способствует восстановлению сердечного ритма или погашению кислородного долга, но способствует утилизации лактата. Перспективным является метод перкуссионного массажа, так как он отличается мобильностью, простотой применения и хоть не решает вопрос погашения кислородного долга может быть эффективен для нормализации кровотока и эффективного восстановления мышечного аппарата.

1.4. Особенности функционального (нагрузочного) тестирования нейромышечного аппарата верхних конечностей у спортсменов

Функциональное тестирование конечностей спортсменов и, в частности, верхних конечностей играет важную роль в современном спорте, особенно это актуально, например, для армрестлеров, пловцов (Сергиенко Л.П., 2013), скалолазов, гимнастов, течений как workout или OCR, борцов и других спортивных направлений. В тестировании должны учитываться индивидуальные биомеханические характеристики, такие как длина конечностей, угол сгибания суставов, сила мышц. Важно учитывать и уровень спортивного мастерства, спортсмены, в отличие от общей популяции, имеют значительно более высокий уровень адаптации к физическим нагрузкам (Ибрагимов В.Р. с соавт., 2023). Это предполагает необходимость использования специфичного оборудования, необходимого для регистрации показателей утомления мышц и обнаружения возможных слабых звеньев в их нейромышечном аппарате.

Различные виды спорта требуют от верхних конечностей специфических движений и нагрузок. Например, у теннисистов будут задействованы одни группы мышц, у альпинистов – другие, а у пловцов – третьи. Тестирование должно учитывать эти различия и быть адаптировано под специфические требования вида спорта (Алексанянц Г.Д., 2002). Важно учитывать психическое состояние спортсмена и уровень его мотивации, которые могут существенно влиять на

результаты тестирования. Оптимально проводить тестирование в условиях, максимально приближенных к реальным тренировкам и соревнованиям.

Особое внимание уделяется выявлению мышечного дисбаланса между антагонистическими мышечными группами (например, бицепсами и трицепсами). Мышечный дисбаланс может привести к травмам и снижению эффективности выполнения спортивных движений (Городничев Р.М. с соавт., 2016).

Важно оценить не только силу, но и координацию работы мышц, их способность работать согласованно, стабилизационные функции также имеют ключевое значение, особенно для спортсменов, выполняющих сложные двигательные задачи (Загrevский В.И. с соавт., 2022).

Для определения функционального состояния используются различные приборы для тестирования, такие как динамометры, электромиографы, кардиодатчики, изокинетические устройства и другие аппаратные комплексы, позволяющие получить точные параметры силы, скорости сокращения и устойчивости к нагрузке (Милодан В.А., 2002; Корнеева И.Т. с соавт., 2012; Мандриков В.Б. с соавт., 2012). Необходимо проводить регулярное тестирование для отслеживания динамики изменений в состоянии нейромышечного аппарата.

Рассмотрим современные методики нагрузочного тестирования. *Методика с использованием подвесных систем* представляет собой диагностический подход, направленный на качественную и количественную оценку уровня нейромышечного контроля опорно-двигательного аппарата спортсмена в условиях закрытой кинематической цепи (Орджоникидзе З.Г. с соавт., 2015). Данная методика основывается на следующих ключевых принципах:

Нестабильность опоры – обеспечивается контролируемой неустойчивостью, достигаемой за счет применения тросов и подвесок. Нестабильность является важным элементом для выявления слабых мест в системе локальной мышечной стабилизации, а также в определённых поверхностных миофасциальных цепях.

Закрытая кинематическая цепь – это тип упражнения, при котором нагрузка осуществляется за счёт веса тела, движение включает несколько суставов и осуществляется в различных режимах. При этом одновременно активируются

мышцы-агонисты, антагонисты и синергисты, в то время как дистальный сегмент конечности остаётся фиксированным (Steindler A., 1983). Тестирование в условиях закрытой кинематической цепи, по сравнению с открытой (где работает только одна мышца в одном суставе и отсутствует нагрузка весом тела), является более функциональным, поскольку в большей степени соответствует динамике спортивного движения.

Усложнение упражнений достигается поэтапным увеличением сложности выполняемых диагностических упражнений через: увеличение длины рычага, уменьшение площади опоры, создание дополнительной нестабильности, выполнение дополнительных движений, а также введение дополнительной нагрузки (Шамсудинов З.Р. с соавт., 2017).

Тестирование комплекса функционально- и анатомически связанных мышц – данный аспект подразумевает анализ взаимодействия и координации работы группы мышц, что позволяет более полно оценить функциональные возможности опорно-двигательного аппарата спортсмена (Батыршина Г.Р., 2016).

Диагностика, проводимая с использованием подвесных систем, позволяет выявить дисфункции в группах мышц, объединённых общими функциональными задачами (Kirkesola G., 2009). К таким системам относятся «Schlingentisch» (Германия), «Neuras» (Норвегия) и «Экзарта» (Россия) (Орджоникидзе З.Г. с соавт., 2015). Методика Neuras (отечественный аналог – методика «Экзарта») была разработана на основе систематизации и дальнейшего развития концепции, а также оценивания эффективности упражнений по системе «S-E-T».

Кистевая динамометрия представляет собой метод измерения силы сжатия кисти, который используется для оценки функционального состояния мышц верхних конечностей (Антипов Е.В., 2024). Этот метод широко применяется в практике спортивной медицины и научных исследованиях, поскольку обеспечивает простой, неинвазивный и количественный способ оценки мышечной силы.

Процедура измерения осуществляется с использованием специального устройства, называемого динамометром. Тестирование начинается с того, что

пациенту предлагают занять сидячее положение с согнутыми под прямым углом локтями. Рукоятка динамометра берется в руку, запястье в нейтральной позиции, и испытуемому предлагается максимально сильно сжать рукоятку. Процедура повторяется несколько раз, чтобы получить точные значения, причем обычно берутся в расчет наилучшие показатели для каждой руки. Важно использовать абсолютные показания в килограммах, полученные измерением ручным динамометром, далее результаты умножают на 100 и делят на вес исследуемого. Для мужчин, не занимающихся спортом, этот показатель должен составлять 60-70 %, а для женщин 45-50 % (Михайлов С.Н. с соавт., 2013).

Важность кистевой динамометрии обусловлена тем, что сила кистевого сжатия коррелирует с общей мышечной силой и может быть индикатором физической подготовленности (Ибрагимов В.Р. с соавт., 2022), состояния питания и общего состояния здоровья (Капустина А.В. с соавт., 2023).

Не новыми, но важными для учета планирования нагрузочного тестирования является оценка физического развития испытуемого, его антропометрического (Антипов Е.В. с соавт., 2024; Левченко Ю.С. с соавт., 2024) и компонентного состава тела (Овсянникова А.В. с соавт., 2021; Ginszt M. et al., 2023).

В результате анализа результатов систематического обзора исследований, включающих количественные методы и тесты для измерения различных форм силы, выносливости, гибкости или производительности в скалолазании и боулдеринге, выявлено 63 различных теста, некоторые из которых включали разные способы реализации. Из них, всего 16 тестов – для оценки силы верхних конечностей и пальцев при скалолазании по различным (неунифицированным) протоколам тестирования (Langer K et al., 2023).

В практике тестирования силовых способностей скалолазания используют т.н. тест на «мертвое подвешивание» (Dead-hang – DH), цель которого – определение максимальной нагрузки, с которой испытуемый мог удерживать тело в висе в течение 5 секунд, уравнивая относительную интенсивность между хватами (Baláš J. et al., 2014). В данном тесте применяется увеличение нагрузки

путем добавления не менее 1 кг между попытками, в соответствии с самооценкой возможностей испытуемого (B. Ferrer-Uris et al., 2023). В литературе имеются результаты исследования количественной оценки силы каждой группы мышц кисти и запястья в зависимости от положения руки при проведении нагрузочного теста (Yang Z.R. et al., 2024).

В практике скалолазания применяются нагрузочные тесты на выносливость мышц пальцев и плечевого пояса: тесты на подвешивание на двух пальцах (с использованием захватов на 2,5 и 4 см) и вариантов «подтягиваний» в комбинациях динамических и изометрических режимов (Draga P. et al., 2024). При этом сила сгибателей пальцев служит надежным предиктором успешности занятий скалолазанием (Son S. et al., 2024).

К высоконадежным тестам относят «вис в висе», вис на согнутых руках, «подтягивание», захват динамометра, приложение силы к зацепке и тест на «мощный шлепок». Самые высокие корреляции со способностью к скалолазанию были зарегистрированы для показателей тестов «приложение силы к зацепке» и «захват динамометра» (Langer K et al., 2023).

Для измерения силовых параметров кисти использовались ручные динамометры с различными положениями руки (сгибание плеча, сгибание предплечья, отведение/приведение плеча, супинация) в т.ч. с различными поддержками и в положениях сидя или стоя. Изометрическая максимальная сила кисти оценивалась путем измерения (средней) максимальной силы. При этом отмечалась очень высокая отрицательная корреляция между результатами теста и временем лазания (Mitchell, A.C. et al., 2011).

При измерении изометрической мышечной выносливости, испытуемых просили поддерживать от 50 до 80 % от их максимального мышечного усилия как можно дольше. Отмечается высокая корреляция между группой тестов на силу и выносливость, включая тест ручной динамометрии при 50 % от максимального мышечного усилия до утомления, и способностью к скалолазанию (Mermier C.M. et al., 2000).

Принципиальным фактором проявления мышечного усилия является тип захвата (Толонбаев А.Т. с соавт., 2024). Установлены очевидные различия в достижении максимального мышечного усилия закрытым и открытым хватом с явной результативностью выполнения пробы при закрытом хвате (Толонбаев А.Т. с соавт., 2024). Однако при различных вариантах открытого захвата, реализуемых в скалолазании, данные о проявлении мышечного усилия мышц-сгибателей пальцев кисти менее очевидны. Так, для скалолазания различают три специфических положения хвата: CRIMP, SLOPE и SLOPER. Описаны электромиографические данные сокращения глубокого сгибателя пальцев (FDP), поверхностного сгибателя пальцев (FDS), лучевого сгибателя запястья (FCR) и общего разгибателя пальцев (EDC), рассчитаны индивидуальные и глобальные (сумма всех мышц) среднеквадратичные значения нейромышечной эффективности (Ferrer-Uris B. et al., 2023).

Метод *электромиографического тестирования* основывается на том, что электромиографический сигнал можно зарегистрировать с использованием электродов, размещаемых внутри мышцы (внутримышечная электромиография), или электродов, устанавливаемых на поверхности кожи над мышцей (поверхностная электромиография) (Самман А. с соавт., 2021). Электромиографические сигналы, регистрируемые электродами, требуют усиления напряжения и тока для преобразования слабых сигналов в оптимизированные, подходящие для цифрового преобразования и дальнейшей обработки. Биологическая обратная связь представляет собой предоставление человеку информации о функциях его внутренних органов и систем; это метод, позволяющий увидеть или услышать трудноощутимые физиологические процессы и получить объективные данные о состоянии различных систем организма, а также возможность, используя ресурсы организма, научиться управлять физиологическими процессами (Самман А. с соавт., 2021). Обратная связь может быть классифицирована как внутренняя или внешняя. Внутренняя обратная связь предоставляется индивиду, выполнившему задание, и относится к его сенсорно-перцептивной информации. Внешняя (или дополненная) обратная

связь поступает из внешнего источника и включает в себя словесную поддержку наблюдающего терапевта, видеоматериалы, графики и отчеты об эффективности выполнения. Внешняя обратная связь может быть дополнительно классифицирована как знание результатов и знание производительности. Знание результатов предоставляет информацию о конечных результатах выполнения задачи, тогда как знание производительности дает сведения о характеристиках движений, выполненных для реализации задачи, согласно последним исследованиям использование данных технологий позволило получить лучшие результаты (Girolamo M., 2018). Первичное усиление сигнала, применение опции (технологии) биологической обратной связи является наиболее важным этапом проявления и обработки мышечного сигнала, поскольку оно влияет на конечные результаты (Мельников А.А. с соавт., 2023).

Выводы по главе 1

Физиологические основы произвольной регуляции усилий и движений попали в фокус исследователей давно, но актуальность их исследования остается востребованной в связи с развитием методов исследования и аппаратно-технических комплексов. Также учитывая динамику развития, становления и появления новых видов деятельности в современном мире, в т.ч. спортивной, дальнейшее изучение данных механизмов представляется актуальным.

Стоит отметить, что в спортивной деятельности результатом успешной адаптации будет являться изменение проприорецепции, сенсомоторной реакции, изменение компонентного состава тела и выраженная резистентность к специфическим нагрузкам, способность интенсивного восстановления организма и повышение функциональных возможностей.

Среди рассмотренных методов индексации факторов утомления и восстановления наиболее перспективными представляются нейродинамические и электромиографические ввиду наглядной и доступной формы оценки получаемых данных.

Сравнительный анализ методов восстановления нейромышечного аппарата верхних конечностей у спортсменов показал, что техники классического массажа не теряют свою актуальность для срочного восстановления спортсменов, являются хорошо описанными и наиболее полно исследуемыми.

Иглоукалывание представляется перспективным методом срочного восстановления для спортсменов, подвергающихся высоким физическим нагрузкам, оно может эффективно сочетаться с другими методами восстановления, такими как активное восстановление, гидратация и правильное питание, что в совокупности способствует оптимизации восстановительных процессов в организме.

Гипероксия также представляет собой многообещающий метод срочного восстановления при физической нагрузке благодаря своим уникальным механизмам действия и положительным эффектам от физиологических процессов в организме.

Механотерапия как метод срочного восстановления при нагрузках представляет собой эффективный инструмент в арсенале физиотерапии, она не только способствует быстрому восстановлению организма после травм и перегрузок, но и играет важную роль в профилактике заболеваний опорно-двигательного аппарата, обеспечивая профилактику и коррекцию функциональных нарушений.

Из рассмотренных методик функционального (нагрузочного) тестирования нейромышечного аппарата верхних конечностей у спортсменов динамометрия будет являться надежным, но наиболее часто используемым методом, который, тем не менее, не теряет своей востребованности. Электромиографические параметры удобны для оценивания и являются базовыми физиологическими методами исследования, позволяющими оценить силу, выносливость и функциональные возможности отдельных мышечных систем.

Данные методы, основанные на научных подходах, помогают повысить качество и скорость восстановления, предотвращая развитие травм и способствуя улучшению спортивных результатов.

ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Организация исследования

Исследование проведено на базе лаборатории оперативной оценки функционального состояния научно-исследовательского центра спортивной науки Института спорта туризма и сервиса Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета). В обследовании на основании добровольного информированного согласия приняло участие 59 студентов мужского пола, средний возраст которых составил $20,2 \pm 2,5$ лет. Все участники – представители видов спорта, техника основных движений которых основана на изометрическом сокращении мышц сгибателей пальцев рук.

Дизайн исследования выполнен в соответствии с современными рекомендациями по его оформлению (Середа А. П. с соавт., 2019), в частности использован формат, характерный для исследований по оценке точности диагностики STARD (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1 – Общая характеристика групп обследованных лиц

Показатель, ед. изм.	Группа		
	«скалолазы»	«единоборцы»	«неспорсмены»
Количество обследованных лиц	10	28	21
Спортивная специализация	скалолазание	дзюдо, вольная борьба, бокс, карате, ММА рукопашный бой	двигательная активность в объеме учебных занятий ФК
Средний по группе стаж занятий, лет	3,9	6,7	–
Возраст, лет	19,5 (18,3-21,8)	21,2 (19,8-22,6)	20,5 (20,2-21,1)
Масса тела, кг	71,5 (64,5-74,5)	74,0 (70,0-82,5)	68,0 (66,0-76,0)
Длина тела, см	178,0 (175,5-179,0)	178,5 (175,0-180,3)	176,0 (172,0-179,0)
Индекс массы тела, кг/м ²	23,1 (20,3-23,5)	23,2 (22,3-25,1)	21,9 (20,9-28,4)

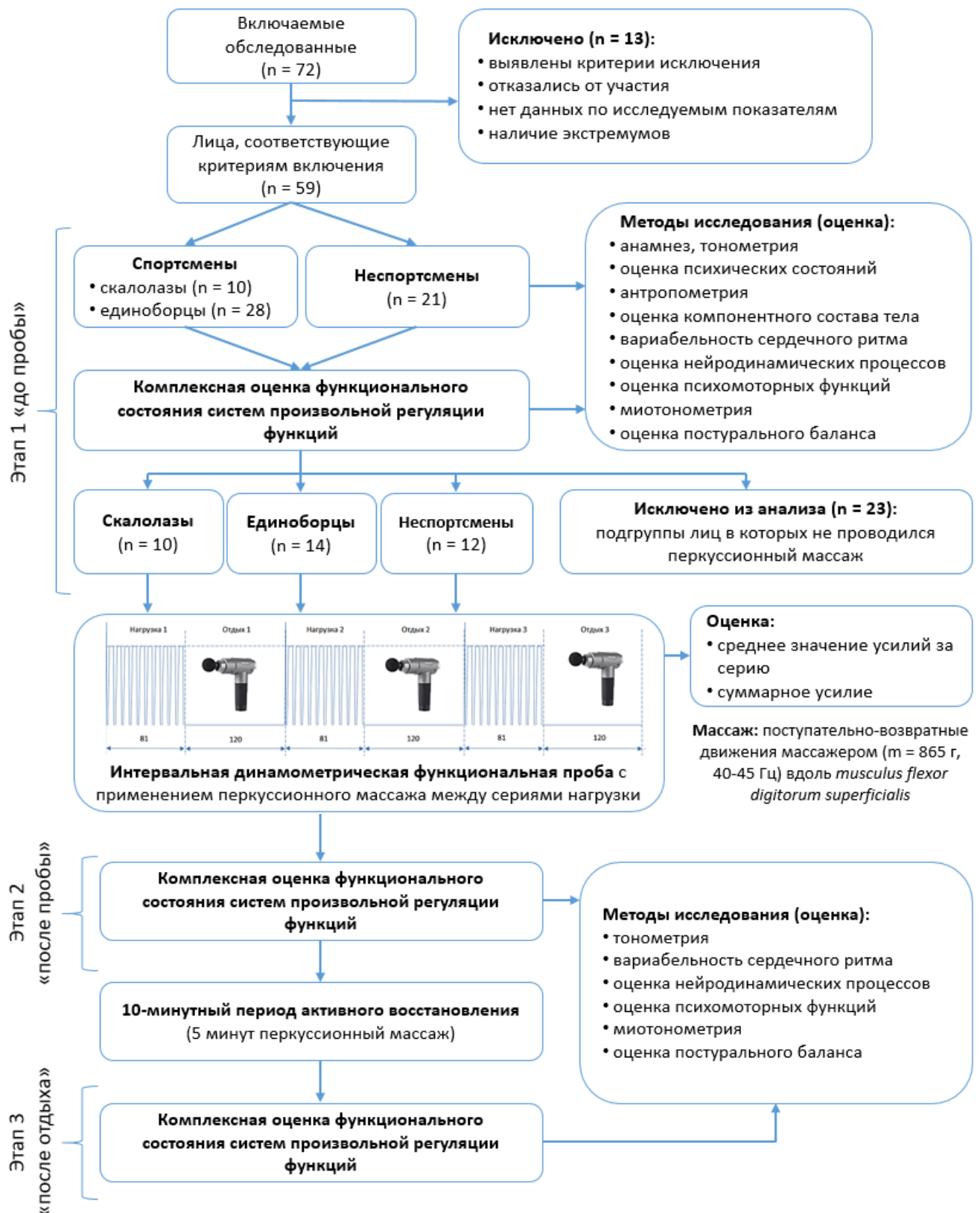


Рисунок 1 – Дизайн исследования (стандарт STARD)

Межгрупповое сравнение с применением критерия Краскела-Уоллеса выявило статистически значимые различия по показателям массы тела ($\chi^2 = 10,984$; $df = 4$; $p = 0,027$) и относительной максимальной мышечной силе

кисти ($\chi^2 = 11,343$; $df = 4$; $p = 0,023$). Апостериорное сравнение исследуемых пар групп по указанным показателям не проводилось. Однако, в связи с тем, что фактор «весовая категория» имеет значение, то при оценивании динамометрических показателей, использованы относительные величины максимальной мышечной силы кисти ведущей руки. В работе представлены результаты сравнения сформированных групп обследованных.

Учитывая целевую установку исследования и его частные задачи, констатируем, что проблема исследования утомления обусловлена различными подходами к выбору методов оценки его развития и, соответственно, восстановления. Сложность оценки утомления определяет необходимость комплексного подхода к подбору методов из области физиологии, психофизиологии и психологии, комбинации объективных и субъективных методов (Новожилова А.А. с соавт., 2022).

В диссертационном исследовании предложена уровневая модель, в основе которой систематизированы показатели применяемых нами методов исследования в соответствии с физиологическими системами регуляции:

- 1) *психомоторный уровень* (показатели теста «РДО», треморометрии, стабилотметрии) – отражают произвольную регуляцию движений, а также постурологический контроль;
- 2) *вегетативный* (показатели ВСР, ЧСС) – характеризует реактивность организма, его резервные возможности;
- 3) *гемодинамический* (АД) – отражает результат реактивности – функциональное состояние сердечно-сосудистой системы;
- 4) *нервно-мышечный* (показатели миотонометрии, динамометрии) – качество и функциональное состояние периферической иннервации и мышечного сокращения/восстановления.

Предложенная «систематизация», на наш взгляд, целесообразна с позиций комплексной оценки функционального состояния организма и специфичности изменений, вызванных функциональной пробой и воздействием перкуссионного массажа как варианта восстановительной процедуры. Кроме того, такой подход

позволит качественно интерпретировать данные с позиций динамических изменений. Например, дестабилизация состояния, вызванная воздействием нагрузки функциональной пробы, сначала отразится на психомоторных и кардиодинамических показателях (тест «РДО» и ЧСС), а затем, на гемодинамических и нейромоторных (АД и мышечный тонус).

2.2. Методы исследования

Анамнез, антропометрия, тонометрия и оценка психического состояния

Объем и содержание анамнеза направлено на отбор обследуемых лиц с целью допуска к функциональному тестированию. Учитывая программу и протоколы обследования, сформированы следующие критерии исключения: 1) общие медицинские противопоказания к физическим нагрузкам (острые и перенесенные в течение последнего месяца сердечно-сосудистые и инфекционные заболевания); 2) противопоказания, специфичные для нагрузки на верхние конечности и нейромышечный аппарат (травмы органов опорно-двигательного аппарата, неврологические нарушения, хирургические вмешательства); 3) невозможность соблюдения протокола обследования: неспособность выполнить требуемые движения в рамках функционального тестирования; 4) прием препаратов, влияющих на нейромышечную проводимость и болевую чувствительность, (менее чем за 72 часа до тестирования); употребление стимуляторов (кофеин) или реализация физических нагрузок (тренировок) в день тестирования; 5) отказ испытуемого от продолжения участия в обследовании на любом его этапе в силу возникновения непредвиденных неблагоприятных явлений (состояний) в процессе выполнения пробы (острая боль, признаки сосудистой недостаточности, резкое ухудшение самочувствия и др.). Критерии включения минимизируют развитие острых функциональных состояний при проведении нагрузочного тестирования (Табашникова С.В. с соавт., 2009; Goodman J.M. et al., 2011).

С целью оценки уровня психической активации и интереса, как состояний, отражающих мотивацию к полноценному выполнению инструкций (Байгужин П.А. с соавт., 2021), в ходе анамнеза обследованным лицам предлагалась методика «Оценка психической активации, интереса, эмоционального тонуса, напряжения и комфортности» (Вансовская Л.И. с соавт., 1990). Последняя включает соответствующие шкалы, отражающие текущее психическое состояние. Результаты представлены на рисунке 2.

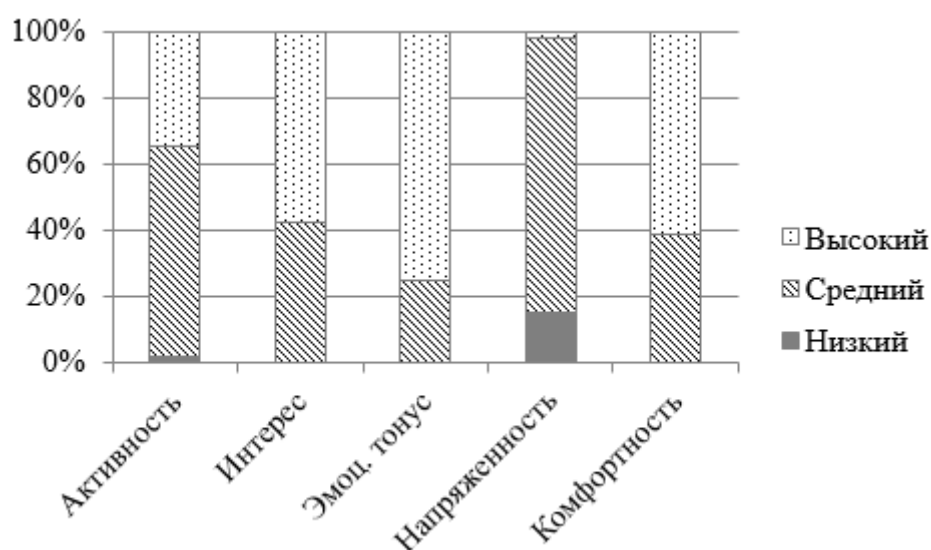


Рисунок 2 – Распределение уровней проявления психической активации, интереса, эмоционального тонуса, напряженности и комфортности у обследованных лиц (n = 59)

Методы оценки психомоторных функций организма

Для оценки *точности сенсомоторной реакции* использовали результаты теста «Реакция на движущийся объект». Анализу подвергались следующие показатели указанной методики: среднее время реакции (мс); среднее время реакции без учета характера реакции по модулю (мс); среднеквадратичное отклонение (мс); энтропия (усл. ед.); коэффициент вариативности (%); число точных реакций; число опережений; число запаздываний; сумма времени опережений (мс); сумма времени запаздываний (мс) (Мантрова И.Н., 2007; Байгужина О.В. с соавт., 2020).

Оценку *произвольной регуляции движений* проводили на основании результатов тестирования по методикам «Динамическая треморометрия по профилю» и «Динамическая треморометрия по профилю с обратной связью». Анализу подвергались следующие показатели указанных методик: продолжительность пробы (секунды); количество касаний пластины в пробе, общая длительность касаний в течение пробы (секунды); время координации (секунды); частота касаний (Гц); процент времени координации движения. В тесте «Динамическая треморометрия по профилю с обратной связью» собственно обратная связь реализуется звуковым сигналом в ответ на ошибку – касание пластины (Мантрова И.Н., 2007; Баранов С.Н., 2017).

Оценку *произвольной регуляции усилий* оценивали на основании результатов тестирования по методикам «Показатель мышечной выносливости» и «Показатель мышечной выносливости с обратной связью». Анализу подвергались следующие показатели указанных методик: продолжительность удержания усилия в заданных пределах – коридоре от 45% до 55% от максимального мышечного усилия; показатель выносливости (%); регуляция усилий (% времени за указанными пределами удержания усилия); коэффициент выносливости (%) (Мантрова И.Н., 2007).

Все указанные психофизиологические методики реализованы в лицензионном, сертифицированном аппаратно-программном комплексе «НС-Психотест» (ООО «НейроСофт», г. Иваново, <http://www.neurosoft.com>).

Метод оценки функционального состояния (реактивности) автономной нервной системы

Оценка функционального состояния (реактивности) автономной нервной системы (АНС) обследуемых проводилась на основе анализа данных электрокардиографического обследования с использованием сертифицированного 12-канального беспроводного электрокардиографа Поли-Спектр-8/ЕХ и лицензионного программного обеспечения «ПолиСпектр-Ритм» (ООО «НейроСофт», г. Иваново, <http://www.neurosoft.com>). ЭКГ-обследование

проводилось в стационарных условиях лаборатории согласно принятым рекомендациям Североамериканского общества по электростимуляции и электрофизиологии и Европейского общества кардиологов. ЭКГ регистрировалась в положении стоя во втором стандартном отведении в течение всего времени обследования на этапах относительного покоя.

Кардиоритмограммы обрабатывались с использованием временного анализа. Реактивность АНС обследованных обеих групп определялась по степени изменения показателей временного анализа (RRNN, SDNN, RMSSD, pNN50, CV) кардиоритмограммы. Полученная кардиоритмограмма каждого этапа обследования была разделена на последовательные этапы (эпохи) анализа, длительность которых составляла 100 кардиоциклов. В оценке функционального состояния (реактивности) АНС руководствовались нормативными значениями исследуемых показателей и их интерпретацией в соответствии с положениями ряда научно-методических публикаций (Зарубин, Ф. Е., 1998; Баевский Р.М. с соавт., 2001; Бокерия Л.А. с соавт., 2009; Nunan D. et al., 2010).

Метод оценки тонуса, упругости и эластичности поверхностных скелетных мышц и сухожилий

В качестве целевой мышцы рассматривали и исследовали *Musculus flexor digitorum superficialis* – основной сгибатель проксимальных межфаланговых и пястно-фаланговых суставов второго-пятого пальцев ведущей руки (Erdağı K., 2020). Оценка тонуса, упругости и эластичности *Musculus flexor digitorum superficialis* получена в результате анализа показателей миотонометрии. Так, проявление тонуса, или состояние напряжения, оценивали по собственной частоте колебаний (F – Frequency, Гц); биомеханических свойств – по показателям динамической жесткости (S – Stiffness, Н/м) и эластичности (D – Decrement, логарифмический декремент (усл. ед.)); вязкоупругих свойств указанной мышцы – по времени релаксации механического напряжения (R – Relaxation, мс).

Миотонометрия проводилась с применением аппаратно-программного комплекса MyotonPRO (<https://www.myoton.com/>), активно применяемого в практике спортивной медицины, реабилитации и восстановления (Garcia-Bernal M.I. et al., 2021; Kocur P. et al., 2021; Nguyen A.P. et al., 2021; Muckelt P.E. et al., 2022; Saldıran T.Ç. et al., 2025). Топография точки регистрации на рисунке 3.

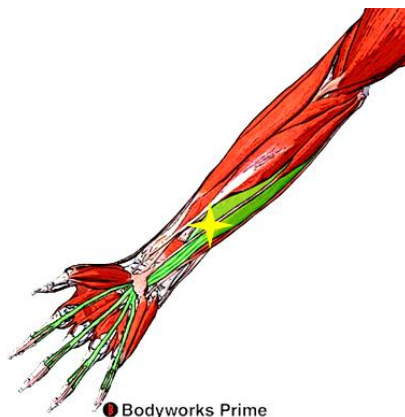


Рисунок 3 – Место регистрации тонуса, упругости и эластичности *Musculus flexor digitorum superficialis* (URL: <https://bodyworksprime.com/flexor-digitorum-superficialis/>)

Оценка компонентного состава тела

Оценка компонентного состава тела получена с помощью автоматизированных весов – анализатора BC-418MA Tanita. Протокол обследования представлен перечнем следующих показателей относительно всего организма (тела), а также его частей (конечностей и торса): массой жировой ткани в теле (FAT MASS, кг) и процентом содержания (FAT %), массой нежировых тканей (FFM, кг), мышечной массой (PMS, кг) и базальным уровнем метаболизма (BMR, ккал), а также общим количеством воды в организме (TBW, кг).

Межгрупповое сравнение с применением критерия Краскела-Уоллеса выявило статистически значимые различия лишь по показателю безжировой массы правой руки ($\chi^2 = 8,163$; $df = 4$; $p = 0,043$). Апостериорное сравнение исследуемых пар групп по указанным показателям не проводилось.

Полученные данные характеризуют фактор, влияющий на биомеханические свойства мышц и связочного аппарата (Usgu S. et al., 2021), а также качество

произвольной регуляции движений и мышечных усилий, отраженных в асимметрии мышц (Грачева Е.И. с соавт., 2023). Дополнительного более расширенного анализа компонентного состава не проводилось.

Оценка постуральной функции организма

Оценка постуральной функции проводилась с помощью метода стабилотографии, реализованного в сертифицированном аппаратно-программном комплексе «Стэдис-Баланс» (ООО «НейроСофт», г. Иваново, <http://www.neurosoft.com>). Руководствовались методикой и принципами стабилотрического исследования (Скворцов Д.В., 2010; Мельников А.А. с соавт., 2021; Grohovsky S.S. et al., 2014).

Инерционный сенсор «Нейросенс», закрепленный на крестце обследуемого регистрировал колебания его тела в пространстве (в трех взаимно перпендикулярных плоскостях: фронтальной, горизонтальной и сагиттальной). Регистрация проводилась в двух режимах по стандартным протоколам стабилотрии: стоя в основной стойке босиком с открытыми и закрытыми глазами (Мельников А.А. с соавт., 2023).

Анализировали следующие показатели постуральной функции: X (колебания, отклонение ОЦТ вправо-влево), Y (колебания, отклонение ОЦТ вперед-назад), дисперсия колебаний DX, DY, S^{02} (площадь статокинезиограммы). Полученные данные интерпретировались со ссылкой на немногочисленные результаты исследований с применением «Стэдис-Баланс» (Королева С.В. с соавт., 2024; Корчевой Л.Н. с соавт., 2024).

Методы математико-статистического и графического анализа данных

Математико-статистический и графический анализ полученных данных проводился с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel 2016 и IBM SPSS Statistica v. 25.

Определение нормальности распределения выборки значений изучаемых показателей осуществлялось с помощью теста Шапиро-Уилка, адекватного критерия при выборке меньше 50. При оценке показателей использованы непараметрические показатели: медиана (Me) и интерквартильный размах, указанный в виде 25 (Q1) и 75 (Q3) перцентилей. Сравнение трех независимых групп количественных данных проводилось с помощью критерия Краскела-Уоллиса (Kruskal-Wallis test). Для проверки статистической значимости полученных результатов при сравнении двух независимых выборок использовался U-критерий Манна-Уитни.

С целью исследования структуры внутри- и межсистемных взаимосвязей исследуемых показателей функциональной системы произвольной регуляции движений и усилий применялся корреляционный анализ с вычислением коэффициента корреляции Спирмена. Анализ подвергались статистически значимые корреляции умеренной и, преимущественно сильной связи ($r \geq 0,5$).

С целью уменьшения размерности исходных данных применяли факторный анализ. Результатом факторного анализа является переход от множества исходных переменных к существенно меньшему числу новых переменных – факторов. Фактор при этом интерпретировался как причина совместной изменчивости нескольких исходных переменных.

Количество факторов, подлежащих содержательной интерпретации определяли, используя график собственных значений (Scree plot). В качестве метода факторизации применяли метод максимального правдоподобия. После вари-макс-вращения (Varimax normalized) получена пятифакторная структура исследуемых признаков. Все признаки однозначно соотносятся по высоким факторным нагрузкам с каждым из факторов. При обозначении и интерпретации содержания фактора по каждой переменной отмечали наибольшую по абсолютной величине факторную нагрузку.

2.3. Интервальная динамометрическая функциональная проба

Одной из задач настоящего исследования являлась разработка функциональной пробы, позволяющей дать оценку силы мышц сгибателей пальцев кисти, реализованной в интервальном изометрическом режиме (увеличение напряжения сократительных элементов без обнаружения изменения длины мышцы или положения сустава).

Основанием считать, что данная нагрузочная проба будет предъявлять повышенные требования к проявлению изометрической силы мышц сгибателей пальцев кисти, явились результаты ряда исследований, выполненных ранее на других группах мышц. Например, установлено, что при выполнении изометрических сокращений мышц голени с увеличением силы от 50 % до 100 % максимального мышечного усилия активность реципрокного торможения снижалась. В частности, при максимальной силе большее проявление реципрокного торможения отмечалось при изометрическом сокращении (Гладченко Д.А. с соавт., 2023).

Исследования силовых показателей преимущественно кистевой динамометрии у спортсменов-скалолазов немногочисленные. Модели исследований спортсменов-скалолазов сводятся к оценкам силовых параметров в ходе повторяющихся изометрических сокращений мышц сгибателей пальцев кисти. Так, в работе F. Quaine с соавторами (2003) протокол исследования включал повторение удерживания мышечных усилий, составляющих 80 % от максимальной изометрической силы с 5-секундными перерывами. D. MacLeod с соавторами (2007) предлагал изометрический тест на выносливость при 40 % от максимальной изометрической силы с повторным 10-секундным удержанием усилий и 3-секундным отдыхом между ними (MacLeod D. et al., 2007).

Учитывая достаточно унифицированные требования к разработке протокола исследования с применением нагрузочного тестирования, востребованной является разработка динамометрической интервальной функциональной пробы как специфического инструмента, моделирующего и оценивающего степень

развития нейромышечного утомления у скалолазов. При проведении пробы учитывали «масштаб зрительной БОС» (Мельников А.А. с соавт., 2023), влияющий на изменения скорости колебаний общего центра давления при оценке постурального баланса испытуемых.

Проба основана на выполнении серий динамометрических упражнений с использованием кистевого динамометра в интервальном режиме. Проба имитирует циклическую нагрузку, характерную для скалолазания, где требуется повторяющееся напряжение мышц предплечья и пальцев кисти.

Протокол обследования. Проба проводится в стационарных условиях лаборатории. Ведущая рука обследуемого согнута в локтевом суставе (45°), предплечье зафиксировано на горизонтальной платформе и развернуто ладонью вверх (рис. 4).



Рисунок 4 – Положение ведущей руки обследованного на платформе

Испытуемый выполняет серию субмаксимальных мышечных усилий (сжатие динамометра) с заданными интервалами отдыха: 10 сокращений с усилием 75 % от максимального, удержание усилия – 5 секунд; интервал между усилиями 3 секунды (рис. 5, 6).

Выполняется три серии, с интервалом отдыха между ними 2 минуты (рис. 7). Фиксируются сила каждого сокращения, время удержания усилия, силовая выносливость, коэффициент утомления (снижение силы к концу теста в % от начального уровня).

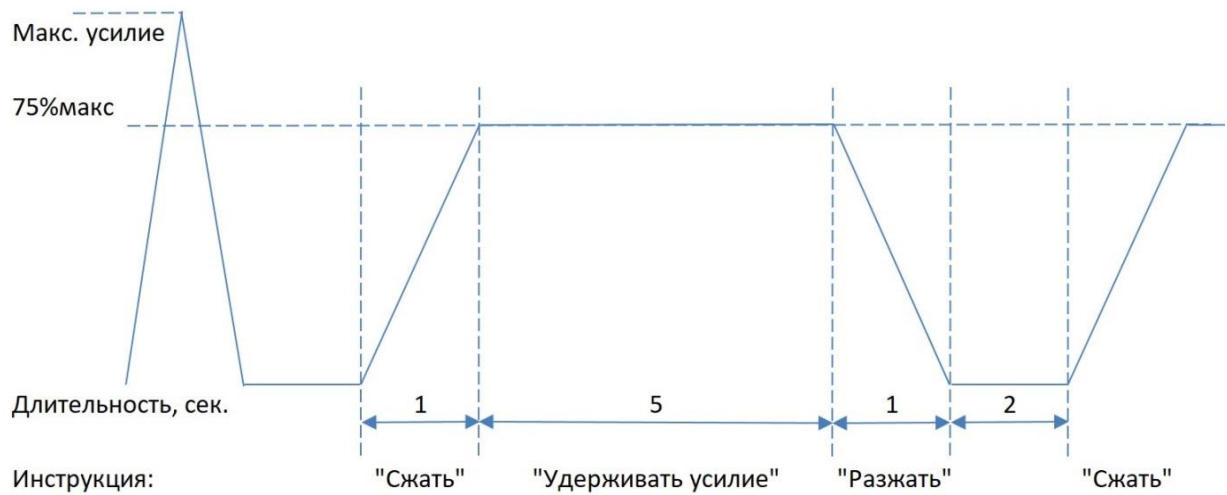


Рисунок 5 – Временная характеристика одного цикла в серии пробы, с

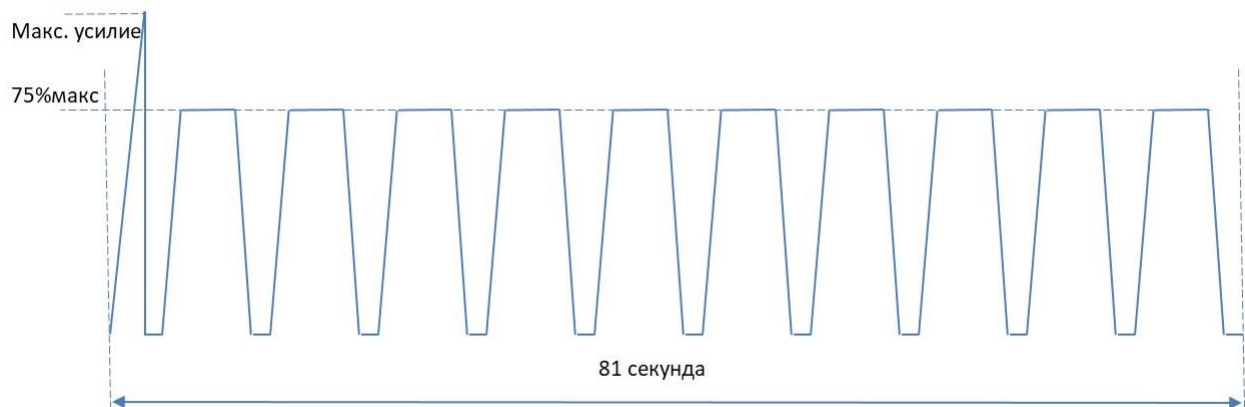


Рисунок 6 – Временная характеристика одной серии циклов пробы

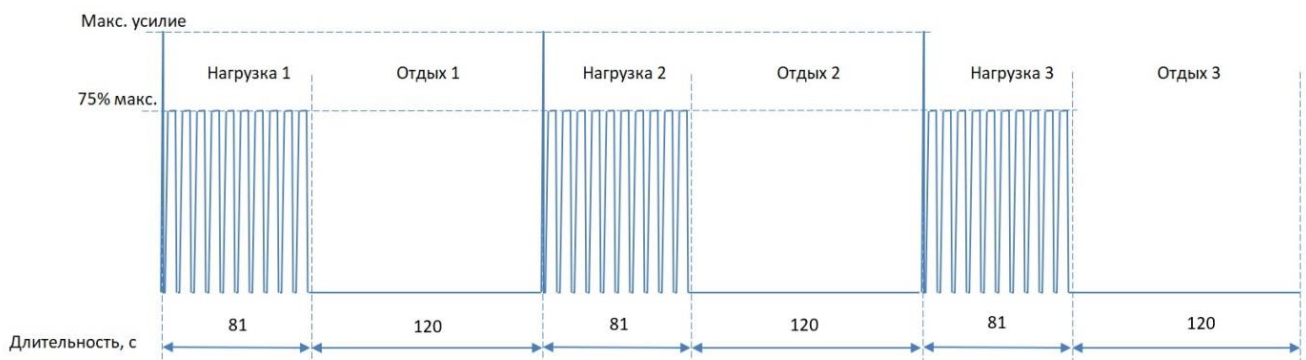


Рисунок 7 – Временная характеристика трех серий циклов пробы

Настоящий вариант динамометрической интервальной пробы разработан и апробирован с целью моделирования мышечного утомления и оценки срочного восстановления мышечной выносливости в результате воздействия

перкуссионного массажа мышц сгибателей пальцев кисти (Громыко М.В. с соавт., 2025).

Все участники перед функциональной пробой провели стандартизированную пятиминутную разминку, включающую упражнения на гибкость и растяжку связочно-мышечного аппарата лучезапястного, плечевого суставов. Перед непосредственно ознакомлением с процедурой выполнения пробы, участники выполнили пять пятисекундных, прерывистых, изометрических сокращений (30 % от максимальной величины) с трехсекундным отдыхом между сериями.

Значения показателей функциональной пробы представлены в таблице 2. Независимо от наличия внутри- и межгрупповых различий акцент делали на факт снижения значений от первой к третьей серии пробы – как доказательство развития нейромышечного утомления, что означает достижение требуемого эффекта применения разработанной функциональной пробы.

Таблица 2 – Значения показателей функциональной пробы у лиц сравниваемых групп (Me Q1-Q3)

Группа	Серия	Среднее значение прикладываемых усилий за серию, кг/с	Суммарное усилие, кг*с
«Скалолазы» (n = 10)	1	23,9 (20,9-25,9)	1550,5 (1331,8-1803,3)
	2	21,7 (21,2-23,3)	1493,0 (1352,8-1585,5)
	3	21,0 (18,5-22,2)	1418,0 (1250,8-1431,8)
«Единоборцы» (n = 28)	1	24,0 (20,2-27,5)	1675,5 (1437,0-1869,8)
	2	21,9 (19,6-25,9)	1490,5 (1339,8-1725,0)
	3	20,4 (18,6-23,7)	1456,5 (1205,8-1600,0)
«Неспортсмены» (n = 21)	1	16,6 (14,4-20,2)	1092,0 (966,0-1345,0)
	2	15,7 (13,7-19,3)	1027,0 (927,0-1277,0)
	3	14,6 (12,8-16,4)	970,0 (890,0-1099,0)

Данные представленные в данном разделе опубликованы в работе: Громыко, М. В. Разработка интервальной динамометрической функциональной пробы / М. В. Громыко, П. А. Байгужин // Российский журнал спортивной науки:

медицина, физиология, тренировка. – 2025. – Т. 4, № 2(14). – DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_02_1.

2.4. Характеристика срочной восстановительной процедуры

В качестве срочной (оперативной) восстановительной процедуры использовался вариант механического массажа *Musculus flexor digitorum superficialis* с применением перкуссионного массажера Felfri модель FF-PM-M 01, насадка «сектор» (<https://felfri.ru>). Проведенный нами анализ физиологических показателей эффективности перкуссионного массажа, применяемого в целях реабилитации и восстановления (Громыко М.В. с соавт., 2025), позволил сформировать соответствующий протокол процедуры: поступательно-возвратные движения массажером вдоль *Musculus flexor digitorum superficialis* (рука находится на платформе ладонью кверху) без применения дополнительного усилия (только за счет массы прибора – 865 г). Частота ударных движений массажера 40-45 Гц. В группах «скалолазы», «единоборцы» и «неспортсмены» массаж проводили в течение двух двухминутных периодов отдыха между сериями функциональной пробы, а также в течение пяти минут после окончания пробы в период 10-минутного отдыха.

Данные представленные в данном разделе опубликованы в работах:

- 1) Громыко, М. В. Разработка интервальной динамометрической функциональной пробы / М. В. Громыко, П. А. Байгужин // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2025. – Т. 4, № 2(14). – DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_02_1.
- 2) Громыко, М. В. Физиологические показатели эффективности перкуссионного массажа в спорте / М. В. Громыко, А. П. Павлова // Актуальные медико-биологические проблемы спорта и физической культуры: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Волгоград, 25–26 февраля 2025 года. – Волгоград: Волгоградская государственная академия физической культуры, 2025. – С. 24-29.

ГЛАВА 3. ОСОБЕННОСТИ РЕАКТИВНОСТИ ОРГАНИЗМА У СПОРТСМЕНОВ В ДИНАМИКЕ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ

3.1. Характеристика исходного состояния функциональных систем, обеспечивающих произвольную регуляцию движений и усилий у лиц групп сравнения

В данном разделе исследования дана сравнительная характеристика фоновых значений показателей произвольной регуляции движений и усилий у лиц сравниваемых групп с целью демонстрации отсутствия межгрупповых различий по ряду параметров исследуемых функциональных систем.

В таблице 3 представлены фоновые значения антропометрических показателей у лиц сравниваемых групп. В результате межгруппового сравнения антропометрических показателей значимых различий не выявлено, что позволяет не проводить дальнейшего апостериорного сравнения групп.

Таблица 3 – Фоновые значения антропометрических показателей у лиц сравниваемых групп (Me Q1-Q3)

Показатель, ед. изм.	«Скалолазы» (n = 10)	«Единоборцы» (n = 28)	«Неспортсмены» (n = 21)	Н-крит., р-уровень
Длина тела, см	178,0 (175,5-179,0)	178,5 (175,0-180,3)	176,0 (172,0-179,0)	3,874; 0,144
Масса тела, кг	71,5 (64,5-74,5)	74,0 (70,0-82,5)	68,0 (66,0-76,0)	3,071 0,215
Индекс массы тела, кг/м ²	23,1 (20,3-23,5)	23,2 (22,3-25,1)	21,9 (20,9-28,4)	2,893 0,235

В таблице 4 представлены фоновые значения показателей временного анализа ВРС у лиц сравниваемых групп. Значимых различий при сравнении фоновых значений показателей временного анализа ВРС у обследованных групп не выявлено: RRNN (H = 2,165; p = 0,339), SDNN (H = 3,418; p = 0,181), RMSSD

($H = 2,609$; $p = 0,271$), $pNN50$ ($H = 1,409$; $p = 0,494$) и CV ($H = 4,229$; $p = 0,121$). Апостериорное сравнение в данном случае нецелесообразно.

Таблица 4 – Фоновые значения показателей временного анализа ВРС у лиц сравниваемых групп (Ме Q1-Q3)

Показатель, ед. изм.	«Скалолазы» (n = 10)	«Единоборцы» (n = 28)	«Неспортсмены» (n = 21)	Референсные значения*
RRNN, мс	702,5 (675,3-722,3)	677,5 (602,0-754,3)	636,0 (590,8-691,3)	–
SDNN, мс	45,5 (36,0-68,50)	35,5 (27,3-53,8)	34,5 (24,8-49,8)	40-80
RMSSD, мс	25,0 (18,0-39,5)	20,0 (14,3-26,0)	20,5 (14,8-30,5)	20-50
$pNN50$, %	6,2 (0,6-18,6)	2,7 (0,0-6,7)	0,8 (0,8-8,7)	7 ± 2
CV (%)	6,7 (5,5-9,3)	5,2 (4,0-6,8)	5,3 (3,9-7,4)	–

Примечание: * – нормативные значения (Викулов А.Д. с соавт., 2005; Гаврилова Е.А., 2015)

Анализ фоновых показателей вариабельности сердечного ритма (ВРС) в группе спортсменов – скалолазов указывает на относительно выраженную парасимпатическую активность автономной нервной системы и сравнительно повышенную общую вариабельность ритма (CV). Например, по отношению к группе «единоборцы» $U = 75$ при $p = 0,052$, а к группе контроля – $U = 59$ при $p = 0,071$. Это свидетельствует о высокой степени тренированности, специфичной для вида спорта, требующего как скоростно-силовой выносливости, так и тонкого нервно-мышечного контроля (Мельников А.А. с соавт., 2024).

У единоборцев и спортсменов значения RRNN, SDNN, RMSSD и $pNN50$ сравнительно ниже, чем у скалолазов – находятся на нижней границе условной нормы, что может указывать на снижение общих регуляторных возможностей или относительно высокий уровень симпатического тонуса даже в состоянии покоя. Таким образом, данные представленные в таблице 4, отражают варианты «нормы», характерной для состояния «покоя» у практически здоровых лиц.

Фоновая вегетативная регуляция несколько уступает скалолазам по уровню парасимпатического тонуса (RMSSD, pNN50), что отражает специфику тренировок: взрывной характер нагрузок в единоборствах в меньшей степени, чем скалолазание, способствует развитию «вагусной» экономизации в покое (Korobeynikov G. et al., 2023).

Показатели вариабельности ритма сердца у неспортсменов отражают типичное для нетренированного человека состояние: относительно высокая ЧСС в покое и низкая вариабельность сердечного ритма, что свидетельствует о тенденции вегетативного баланса к симпатической активации даже в условиях предвосхищения нагрузки (табл. 4).

Известно, что показатели артериального давления (АД) отражают текущее функциональное состояние деятельности сердечно-сосудистой системы, а ЧСС в покое является интегральным показателем вегетативного баланса. АД у неспортсменов находится в пределах референсных значений, характерных для состояния покоя у нетренированных лиц (табл. 5). В группах «скалолазы» и «единоборцы» медианные значения соответствуют «высокому нормальному» диапазону САД.

Таблица 5 – Фоновые значения артериального давления и частоты сердечных сокращений у лиц сравниваемых групп (Me Q1-Q3)

Показатель, ед. изм.	«Скалолазы» (n = 10)	«Единоборцы» (n = 28)	«Неспортсмены» (n = 21)
Систолическое АД, мм рт.ст.	133,5 (125,3-143,3)	131,5 (121,8-142,3)	118,0 (112,0-126,0)
Диастолическое АД, мм рт.ст.	79,5 (72,8-84,0)	79,5 (75,0-89,5)	77,0 (73,0-83,0)
Частота сердечных сокращений, уд/мин	86,0 (79,5-90,8)	85,5 (74,8-95,5)	89,0 (76,0-98,0)

Так, значения диастолического АД (ДАД) во всех трех группах находятся в пределах возрастной нормы (< 85 мм рт.ст.). У тренированных спортсменов, развивающих выносливость и силовые качества, часто наблюдается физиологическое повышение ударного объема сердца (Conti V. et al., 2021). Как

правило, в состоянии покоя это часто проявляется в повышенном САД при нормальном диастолическом (D'Ascenzi F. et al., 2021). При этом у спортсменов такие изменения не являются признаками изолированной систолической гипертензии.

При межгрупповом сравнении фоновых значений исследуемых показателей статистически значимые различия выявлены для систолического артериального давления ($H = 8,926$; $p = 0,012$). При апостериорном сравнении групп «скалолазы» и «единоборцы» различий между исследуемыми показателями не обнаружено. Следовательно, выявлены различия значений систолического артериального давления между группами «скалолазы» и «неспортсмены» ($U = 50,5$; $p = 0,019$), а также «единоборцы» и «неспортсмены» ($U = 162$; $p = 0,08$).

Медианные значения частоты сердечных сокращений (ЧСС) во всех группах достаточно близки. На наш взгляд, незначительное превышение диапазона «нормы» ЧСС является естественной реакцией на стандартную нагрузку (разминку), вероятно, волнение перед функциональным тестированием. Тем не менее, прослеживается тенденция к повышению ЧСС даже у спортсменов (особенно у скалолазов).

Согласуя фоновые данные ВСР, у спортсменов наблюдается сочетание высокого парасимпатического тонуса с относительно высоким систолическим АД, характерное для функции «спортивного сердца», когда блуждающий нерв активно замедляет ритм и способствует восстановлению, а миокард обеспечивает высокий систолический объем крови, что отражается на величине САД.

Далее представлена оценка показателей миотонометрии, отражающих биомеханические свойства мышцы: тонус, жесткость, эластичность и скорость расслабления, а также функциональное состояние как мышечных волокон, так и эффективность их нервной регуляции (табл. 6).

Уровень тонуса покоящейся мышцы (Frequency) достаточно вариабелен, при этом более низкие значения ассоциируются с лучшей способностью мышцы к расслаблению. Сравнительно низкий тонус у скалолазов в покое указывает на более выраженную способность мышцы-сгибателя к релаксации. Это критически

важное адаптационное качество для скалолазания, где требуется попеременное напряжение и полное расслабление мышц хвата для экономии сил. Относительно высокий тонус у единоборцев может отражать специфику их тренировок: постоянная готовность к резким, взрывным движениям, что поддерживает мышцы в состоянии более высокой фоновой активности.

Медианные значения показателя мышечной или динамической «жесткости» (Stiffness) во всех группах сравнения относительно высокие. Относительно пониженная жесткость у скалолазов согласована с низким тонусом и свидетельствует о пластичности мышечной ткани исследуемой мышцы.

Таблица 6 – Фоновые значения показателей миотонометрии у лиц сравниваемых групп (Me Q1-Q3)

Показатель, ед. изм.	«Скалолазы» (n = 10)	«Единоборцы» (n = 28)	«Неспортсмены» (n = 21)	Референсные значения [!]
Frequency, Гц (тонус)	20,1 (18,7-21,2)	22,7 (19,8-25,9)	20,6 (19,7-21,7)	12,0-18,0
Stiffness, Н/м (динамич. жесткость)	390,0 (383,0-425,0)	437,0 (385,0-511,3)	398,0 (381,0-455,0)	220-380
Decrement, отн. ед. (эластичность)	1,02 (0,92-1,14)	1,23 * (1,07-1,41)	1,22 * (1,12-1,42)	1,0-1,6
Relaxation, мс (время релаксации)	13,1 (11,9-13,3)	11,7 (9,8-13,3)	12,8 (11,3-13,5)	14,0-30,0

Примечание: * – различия значения относительно группы «скалолазы» при $p = 0,005$;
[!] – официальный сайт производителя <https://www.myoton.com/>

Вероятно, это специфическое состояние является результатом тренировочных воздействий с акцентом на профилактику травм (растяжений), что способствует эффективному кровоснабжению мышцы в покое. Повышенная жесткость у единоборцев также может быть следствием гипертрофии мышечных волокон с большим содержанием соединительной ткани, не позволяющей проявлять эластичность мышцы (Hawley J.A. et al., 2018; Qu G. et al., 2023).

При межгрупповом сравнении фоновых значений миотонометрических показателей статистически значимые различия выявлены для показателя «Decrement», характеризующего эластичность ($H = 9,405$; $p = 0,009$). При

апостериорном сравнении групп «скалолазы» и «единоборцы» различий между исследуемыми показателями не обнаружено. Следовательно, выявленные различия значений мышечной эластичности между группами «скалолазы» и «неспортсмены» ($U = 38$; $p = 0,005$), а также «скалолазы» и «единоборцы» ($U = 55,5$; $p = 0,005$) определяют характерное для занимающихся спортом лиц сниженные значения мышечной эластичности. Во всех группах сравнения мышечная эластичность (Decrement), способность мышцы «демпфировать» механическое воздействие, соответствует диапазону «норма» (табл. 6). Однако сравнительно меньшая эластичность исследуемой мышцы проявляется в группах «единоборцы» и «неспортсмены». Эластичность мышцы предплечья у скалолазов – это специфический результат их тренированности, выраженный в плавности движений, амортизации и эффективном расслаблении.

Показатель мышечного расслабления (Relaxation) во всех сравниваемых группах соответствует низкой длительности восстановления исследуемой мышцы. При отсутствии межгрупповых различий отмечается тенденция у скалолазов к более длительному времени расслабления, которая может сочетаться с их общей стратегией глубокой релаксации. Более короткое время у единоборцев может отражать их способность к быстрому переходу от напряжения к расслаблению и обратно, что важно для серийных взрывных двигательных актов.

Согласуя интерпретацию представленных выше результатов, наблюдается специфическая зависимость: у скалолазов относительно высокая парасимпатическая активность нервной системы сочетается с низким мышечным тонусом. Это единая стратегия организма на всех уровнях: экономизация и тонкая регуляция – от вегетативного обеспечения деятельности до исполнительского звена – периферической мышцы. В группе единоборцев вегетативный профиль менее выражен, а мышечный – отражает высокую готовность к специфическим двигательным действиям (захваты, удерживания, зацепы, удары).

Анализ стабилметрических показателей проводится с целью оценить проявление регуляции позы стояния обследуемых в ответ на функциональную нагрузку и в период восстановления после нее. Имеются данные о влиянии

тренировки нижних конечностей на устойчивость вертикальной позы (Мельников А.А. с соавт., 2021). Авторами установлено значимое уменьшение амплитуды по сравнению с исходным уровнем и увеличение частоты колебаний ОЦД в сагиттальной плоскости; а также сокращение площади статокинезиограммы.

Интерпретация данных стабилотрии, реализованной с помощью инерционного датчика (прикрепленного на уровне крестца обследуемого), сводится к оценочным суждениям «больше – меньше». При этом относительно БОльшие величины показателей характеризуют соответствующие отклонения стойки обследуемого во фронтальной (X), сагиттальной (Y) плоскостях, а также интегрального показателя – площади статокинезиограммы (S).

Примечательно, что в результате межгруппового сравнения фоновых значений стабилотрических показателей статистически значимые различия не выявлены (табл. 7).

До нагрузочной пробы независимо от принадлежности обследованных лиц к той или иной группе, как с открытыми, так и с закрытыми глазами среднее отклонение центра давления по оси $\sim Y$ (сагиттальная) статистически значимых различий не имело. Все обследованные демонстрируют очень близкие к нулю значения, что характеризует устойчивость стойки.

Центр давления по оси $\sim X$ (фронтальная) в пробе с открытыми глазами различий не показал. Все группы имеют незначительные отрицательные значения, указывающие на смещение центра давления кзади. В пробе с закрытыми глазами статистически значимых различий также не выявлено ($p = 0,324$), однако наблюдается тенденция к положительному смещению ЦД по оси $\sim X$ в группе «скалолазы» ($0,271^\circ$) по сравнению с группами сравнения ($0,150^\circ$ и $0,118^\circ$). Это может указывать на специфическую, более активную стратегию поддержания равновесия у скалолазов в сложных условиях (отсутствие зрения).

Показатели дисперсии отклонений центра давления (DX, DY) и площадь статокинезиограммы (S) являются основными и отражают амплитуду и частоту колебаний тела. Интерпретация данных основана на принципе «более низкие значения указывают на более высокую постуральную устойчивость».

Таблица 7 – Фоновые значения основных стабилметрических показателей у лиц сравниваемых групп (Ме Q1-Q3)

Показатель, ед. изм.	Вариант пробы	«Скалолазы» (n = 10)	«Единоборцы» (n = 28)	«Неспортсмены» (n = 21)	Н-крит., р-уровень
$\sim X^\circ$	открытые глаза	-0,005 (-0,039-0,092)	-0,008 (-0,046-0,031)	-0,008 (-0,112-0,022)	0,857 0,651
	закрытые глаза	-0,025 (-0,083-0,193)	0,006 (-0,084-0,118)	-0,017 (-0,153-0,071)	1,351 0,509
$\sim Y^\circ$	открытые глаза	-0,043 (-0,279-0,031)	-0,112 (-0,257-0,069)	-0,099 (-0,236-0,400)	0,399 0,819
	закрытые глаза	0,271 (0,089-0,819)	0,150 (-0,237-0,311)	0,118 (-0,091-0,447)	2,254 0,324
DX°	открытые глаза	0,020 (0,012-0,027)	0,016 (0,010-0,020)	0,018 (0,011-0,025)	1,068 0,586
	закрытые глаза	0,029 (0,015-0,038)	0,022 (0,016-0,035)	0,026 (0,016-0,028)	0,644 0,725
DY°	открытые глаза	0,090 (0,069-0,111)	0,066 (0,036-0,094)	0,109 (0,069-0,144)	4,926 0,085
	закрытые глаза	0,121 (0,087-0,150)	0,123 (0,091-0,190)	0,144 (0,114-0,207)	2,224 0,329
S°	открытые глаза	0,648 (0,468-0,956)	0,502 (0,365-0,756)	0,729 (0,499-0,980)	4,277 0,118
	закрытые глаза	0,956 (0,656-1,057)	0,972 (0,747-1,351)	1,042 (0,930-1,201)	1,167 0,558

В пробе с открытыми глазами все участники групп сравнения демонстрируют схожую низкую дисперсию колебаний влево-вправо (DX) Однако, анализируя колебания вперед-назад (DY), видна тенденция к различиям ($N = 4,926$ при $p = 0,085$) между группами сравнения. Группа «Единоборцы» демонстрирует наименьшие колебания ($0,066^\circ$), что указывает на их лучшую постральную устойчивость в сагиттальной плоскости при наличии зрительного контроля (табл. 7).

При отсутствии значимых различий «единоборцы» имеют сравнительно наименьшую площадь статокнезиограммы ($0,502^{\circ 2}$), что подтверждает их высокий уровень регуляции позы (стойки) в условиях открытых глаз. При этом по данным А.А. Melnikov с соавторами (2023) уровень спортивной подготовленности в большей степени влияет на способность произвольно регулировать

вертикальное положение тела в динамических тестах и не связан с показателями постуральной устойчивости в обычных статических позах. Авторы указывают, что физиологические механизмы, обеспечивающие усиленную регуляцию осанки у спортсменов, до конца не изучены и требуют дополнительных исследований.

В пробе с закрытыми глазами, когда исключен зрительный контроль и повышена нагрузка на проприоцепцию и вестибулярный аппарат, показатели DX, DY статистически значимо между группами не отличаются. При исключении зрения в регуляции стойки амплитуда колебаний ожидаемо возрастает у всех. Межгрупповых различий между значениями показателя статокинезиограммы также нет. Однако отмечаем относительно наименьший межквартильный размах в группе «Скалолазов» (особенно по сравнению с неспортсменами). Это свидетельствует о проявлении стабильного качества равновесия у скалолазов в этой сложной пробе (условиях неопределенности).

Таким образом, оценивая данный «уровень» психомоторной регуляции можно выявить не столько абсолютные различия проявления постуральной устойчивости, сколько специфические. Так, группа «Единоборцы» демонстрирует преимущество в поддержании равновесия в пробе с открытыми глазами (наименьшие площадь S и дисперсия DY). Это логично, так как в единоборствах зрительный контроль за положением тела противника критически важен. Группа «Скалолазы» демонстрирует особую стратегию при отсутствии зрительного контроля (тенденция к смещению центра давления) и высокую стабильность результата (малый разброс показателей с закрытыми глазами). Это отражает их адаптацию к работе в условиях, где зрительный контроль часто ограничен (например, прижимаясь к скале), и доминирует проприоцептивный контроль. Выявленные тенденции хорошо согласуются со спецификой спортивной деятельности скалолазов и единоборцев.

Группа «Неспортсмены» ожидаемо демонстрирует наименее эффективный контроль равновесия, что выражено в сравнительно больших колебаниях и площади в пробе с открытыми глазами.

Таким образом, скалолазы демонстрируют системную экономизацию (ВСП, мышечный тонус) и развитие проприоцептивного, а не зрительного контроля (стабилометрия). У единоборцев – готовность к действию в поле зрения (мышечный тонус, устойчивость с открытыми глазами).

Показатели стабилотметрии отражают выраженную эффективность работы сенсомоторной интеграции (взаимодействие вестибулярного, зрительного и проприоцептивного анализаторов) для поддержания устойчивой позы в пробе «глаза открыты», что очевидно. В этой связи, далее в работе будет проведен анализ данных, полученных в пробе с открытыми глазами.

Интерпретация фоновых показателей теста «Динамическая треморометрия» отражает степень выраженности произвольной регуляции точности и устойчивости «тонких» движений и характеризует психомоторный уровень регуляции. Акцентируем внимание на особенности интерпретации: так, более низкие значения «Количества касаний», «Длительности касаний» и более высокие значения «Времени координации» и «% времени координации» свидетельствуют о лучшем психомоторном контроле.

Статистически значимых различий по критерию Крускала-Уоллиса между группами нет ни по одному из показателей двух вариантов теста: с обратной и без обратной связи. Однако выявлены внутригрупповые различия между значениями показателей проб с обратной связью и без нее и только в группах «единоборцы» и «неспортсмены» (табл. 8).

Увеличение длительности пробы в пробе с обратной связью как у единоборцев ($Z = -3,120$; $p = 0,002$), так и у спортсменов ($Z = -2,087$; $p = 0,037$) на фоне сокращения длительности касаний ($Z = -2,438$; $p = 0,015$) способствует повышению качества произвольной регуляции движений. Это также выражено в увеличении времени координации тестового движения (у единоборцев $Z = -3,769$; $p < 0,001$ и $Z = -1,947$; $p = 0,052$ – у спортсменов), соответственно и процента времени координации ($Z = -3,278$; $p = 0,001$ и $Z = -2,461$; $p = 0,014$) а также снижении тремора ($Z = -2,816$; $p = 0,005$ и $Z = -2,181$; $p = 0,029$, соответственно).

Установленные эффекты согласуются с немногочисленными результатами исследований (Прачева А.А., 2015; Pryimakov A.A. et al., 2015). При этом эффективность механизма «обратной связи» при исследовании физиологического тремора достаточно изучена (Александров А.Ю. с соавт., 2020; Sahin G. et al., 2022).

Таблица 8 – Фоновые значения показателей произвольной регуляции движений у лиц сравниваемых групп (Me Q1-Q3)

Показатель, ед. изм.	«Скалолазы» (n = 10)	«Единоборцы» (n = 28)	«Неспортсмены» (n = 21)	Н-крит., р-уровень
<i>Динамическая треморометрия по профилю</i>				
Длительность пробы, с	30,9 (28,75-36)	34,2 (27,9-38,9)	39,1 (28,4-49,6)	1,506 0,471
Количество касаний	95,5 (74,8-103,25)	82,5 (51,0-104,3)	83,0 (61,0-114,0)	1,102 0,576
Длительность касаний, с	3,4 (2,8-4,4)	4,0 (2,6-4,5)	3,7 (2,7-5,0)	0,628 0,731
Время координации, с	28,1 (22,9-30,7)	30,0 (25,1-35,7)	35,4 (23,4-43,6)	2,084 0,353
Частота касаний, Гц	3,0 (2,7-3,3)	2,4 (1,7-3,2)	2,3 (1,8-3,8)	1,926 0,382
% времени координации	89,0 (87,3-90,8)	89,5 (85,8-93,3)	91,0 (81,0-93,0)	0,362 0,834
<i>Динамическая треморометрия по профилю с обратной связью</i>				
Длительность пробы, с	34,4 (31,3-42,4)	35,9 ** (31,6-42,9)	44,1 (32,2-47,8)	2,106 0,349
Количество касаний	77,0 (73,5-112,5)	83,5 (56,0-102,3)	84,0 (68,0-102,0)	0,355 0,837
Длительность касаний, с	2,9 (1,9-3,7)	2,9 ** (2,4-3,6)	3,6 * (2,5-4,2)	1,670 0,434
Время координации, с	32,7 (28,2-39,7)	33,4 ** (28,9-39,2)	40,5 * (29,7-44,2)	1,879 0,391
Частота касаний, Гц	2,3 (1,9-3,0)	2,2 ** (1,6-2,6)	2,1 * (1,8-2,8)	0,627 0,731
% времени координации	92,0 (89,5-94,5)	92,0 ** (90,0-94,0)	91,0 ** (89,0-93,0)	0,426 0,794

Примечание: * – различия показателя относительно значения показателя в пробе «Динамическая треморометрия по профилю» (без обратной связи) при $p \leq 0,04$; ** – то же, при $p \leq 0,02$

Отсутствие статистически значимых различий в группе скалолазов указывает на достаточную однородность значений (межквартильного размаха) сравниваемых показателей теста, а значит относительно высокий уровень произвольной регуляции движений.

Исходя из указанного выше анализа, по аналогии с предыдущим фрагментом диссертации, в котором сравнивались показатели в пробах со зрительной регуляцией и без нее, принято решение об анализе данных, полученных в пробе с обратной связью. Данному решению предшествовал предварительный сравнительный анализ, позволяющий выявить более качественный уровень произвольной регуляции движений. То же замечание справедливо и по отношению к результатам, полученным при тестировании мышечной выносливости – произвольной регуляции усилий.

Общая характеристика показателей теста «Динамическая треморометрия по профилю с обратной связью» отражает относительно большую длительность пробы, реализуемую неспортсменами. Меньшее время у спортсменов указывает, вероятно, на проявление решительности и скорости при выполнении двигательной задачи. Данная особенность проявляется и при анализе времени координации (общее время, когда щуп не касался краев профиля), когда спортсмены не только быстрее выполнили тест, но и делали это с большей точностью в пересчете на общее время теста.

«Процент времени координации» нивелирует разницу в общей длительности и все испытуемые групп сравнения демонстрировали высокие и практически идентичные результаты (91-92 %). Можно утверждать, что в относительном выражении способность к точному движению в покое у всех испытуемых достаточно высока.

Сравнительная характеристика показателей точности и тремора, отражающих качество моторного контроля, не выявила значимых различий, что указывает на равное количество и частоту ошибочных действий (касаний). Однако особенность в проявлении этих ошибок проявляется в демонстрации неспортсменами большей средней длительности каждого касания по сравнению

со спортсменами. Разный характер ошибок: у спортсменов ошибки более «короткие», импульсные (следствие легкого тремора), у неспортсменов – ошибки более продолжительные по времени, что связано с относительно менее точной коррекцией траектории движения – регуляции движения.

На правах предварительного вывода, можно заключить, что абсолютная точность движений в покое сопоставима, т.е. базовая координация у здоровых молодых людей, независимо от тренированности, одинакова. При этом выявлены различия в качестве или стратегии регуляции движения. Спортсмены (и скалолазы, и единоборцы) демонстрируют тенденцию к более быстрому и эффективному выполнению пробы: тратят меньше общего времени, но при этом сохраняют высокий процент времени точного движения. Неспортсмены выполняют пробу медленнее, и их ошибки носят иной характер, выраженный в более длительных касаниях.

Если в стабилometрии (регуляция позы) выявлены специфические адаптации у спортсменов, то в треморометрии (регуляция движения руки) в покое группы сравнения менее различимы. Очевидно, спортивная тренировка в первую очередь задействует именно те нервно-мышечные контуры, которые наиболее востребованы в конкретном виде деятельности. Преимущество спортсменов заключается не в абсолютной точности, а в скорости и устойчивости точных движений при воздействии внешних факторов (устомление, стресс).

Тест «Динамометрия» позволяет оценить способность точно поддерживать заданный уровень изометрического усилия в течение определенного периода времени. Выполнение данной пробы требует обратной связи от проприорецепторов и точной корковой регуляции мотонейронов. Таким образом, интерпретация показателей динамометрии (табл. 9), отражает нервно-мышечный уровень произвольной регуляции мышечного усилия. Апеллируя к указанному выше сценарию анализа полученных данных, в этом случае будут интерпретированы показатели варианта теста «Динамометрия с обратной связью».

При межгрупповом сравнении фоновых значений показателей произвольной регуляции усилий статистически значимые различия между всеми группами не выявлены (табл. 9). Однако проведение сравнительного анализа позволит, на наш взгляд, выявить тенденции в проявлении произвольной регуляции усилий у обследованных лиц.

Основной показатель теста «Показатель выносливости» отражает, какой процент от общего времени теста испытуемый смог удерживать усилие в заданном целевом диапазоне (50 % от максимального усилия) и, чем он выше, тем более выраженная способность к регуляции мышечного усилия. Так, единоборцы демонстрируют относительно высокие значения (92,8 % при $p = 0,145$). Регуляция усилий оценивается и по обратному к показателю выносливости – проценту времени удержания усилия за пределами целевой зоны (чем ниже процент, тем лучше контроль).

Таблица 9 – Фоновые значения показателей произвольной регуляции усилий у лиц сравниваемых групп (Me Q1-Q3)

Показатель, ед. изм.	«Скалолазы» (n = 10)	«Единоборцы» (n = 28)	«Неспортсмены» (n = 21)	Н-крит., р-уровень
<i>Динамометрия без обратной связи</i>				
Продолжительность удержания усилия, с	0,5 (0,3-0,9)	0,7 (0,2-1,5)	0,6 (0,3-0,8)	0,295 0,863
Показатель выносливости, %	6,0 (2,7-8,7)	6,9 (2,2-15,6)	5,7 (2,6-8,5)	0,301 0,860
Регуляция усилий (% времени за пределами)	94,1 (91,3-97,4)	93,1 (84,5-97,8)	94,3 (91,5-97,4)	0,301 0,860
<i>Динамометрия с обратной связью</i>				
Продолжительность удержания усилия, с	8,5 (8,1-8,9)	9,2 (8,3-9,6)	8,1 (7,2-9,5)	4,187 0,123
Показатель выносливости, %	86,1 (82,1-89,1)	92,8 (83,9-96,9)	81,9 (73,6-95,7)	3,864 0,145
Регуляция усилий (% времени за пределами)	14,0 (10,9-18,0)	7,2 (3,2-16,1)	18,1 (4,3-26,4)	3,864 0,145

Показатель «Продолжительность удержания усилия» – общее «полезное» время выполнения пробы. Значения данного показателя близки у всех групп сравнения, что свидетельствует о сопоставимом уровне базовой физической выносливости к данной конкретной нагрузке. При этом наибольшее время у

единоборцев (9,2 из 10 секунд) согласуется с их лучшими показателями точности произвольной регуляции мышечных усилий (табл. 9).

Характеризуя результаты динамометрии, можно отметить четкую иерархию в способности к произвольной регуляции мышечного усилия. Группа «единоборцы» демонстрирует относительно высокие результаты, что логично с точки зрения специфики их спорта. В единоборствах предъявляются повышенные требования к проявлению точного, дозированного, взрывного и контролируемого усилия в постоянно меняющейся ситуации. Нервно-мышечная система единоборцев наилучшим образом адаптирована для тонкого управления (Giboin L.-S. et al., 2022; Savić R. et al., 2022). Не менее критически важным для скалолазов является точный контроль усилия хвата (зацепа), однако двигательная задача часто заключается в длительном удержании статического или изометрического усилия, а не в скоростной его регуляции. В группе лиц, не занимающихся спортом, сравнительный анализ показателей произвольной регуляции мышечного усилия отражает отсутствие специфической тренировки нервно-мышечного контроля.

Согласуя результаты произвольной регуляции усилий с результатами миотонометрии, можно сделать предварительные выводы: у единоборцев мышечный аппарат готов к действию (несколько повышенный тонус и жесткость) на фоне оптимальной нервной регуляции для управления этой мышцей (сравнительно высокие показатели динамометрии); у скалолазов – мышечный аппарат оптимизирован с позиций экономии и расслабления (низкий тонус, высокая эластичность) на фоне достаточной (но не максимальной) способности к точной регуляции усилия в тесте «Мышечная выносливость». Профиль сопряжения миотонометрии и динамометрии у неспортсменов непоследовательный: их мышечные свойства не имеют специфической адаптации, а нервно-мышечный контроль – наименее точен.

Еще один из интегральных параметров, отражающий уравновешенность нервных процессов, характеризует психомоторный уровень регуляции усилий и движений – реакция на движущийся объект. Одноименный

психофизиологический тест оценивает способность испытуемого точно совпадать с движущимся объектом в момент его прохождения целевой точки. Двигательная задача теста требует тонкого баланса между процессами возбуждения и торможения в центральной нервной системе. Так, опережающие реакции – свидетельствуют о преобладании возбуждения, запаздывающие – о преобладании торможения, точные реакции – отражают уравновешенность указанных процессов.

При межгрупповом сравнении фоновых значений показателей произвольной регуляции усилий статистически значимые различия не выявлены. Это означает, что базовый уровень уравновешенности нервных процессов у всех трех групп сопоставим. Однако анализ медианных значений исследуемых показателей выявляет тенденции, которые хорошо согласуются с ранее выявленными особенностями.

Все группы демонстрируют схожий и достаточно высокий базовый уровень точности (~28-31 из 50 возможных). Единоборцы демонстрируют тенденцию к сравнительно большому числу опережающих реакций (9,0), что согласуется с их профилем «готовности к действию», выявленным по результатам анализа данных динамометрии и миотонометрии. В группе «скалолазы» число запаздывающих реакций (12,0) отражает стратегию экономичности и контроля (табл. 10). В скалолазании часто важнее точное, выверенное, иногда даже несколько отсроченное движение, чем опережающая импульсивная реакция.

Анализ величины ошибок (суммарное время опережений и запаздываний) в условиях «функционального покоя» не выявил значимых различий. Выявлены условные тенденции в структуре ошибок, которые соответствуют профилям спортивной адаптации: у единоборцев отмечается тенденция к сдвигу баланса в сторону возбуждения (больше опережающих реакций), у скалолазов – к сдвигу в сторону торможения (больше запаздывающих реакций).

Резюмируя данный фрагмент диссертационного исследования можно охарактеризовать исходное функциональное состояние у спортсменов (скалолазов и единоборцев) и лиц, не занимающихся спортом. Так, у скалолазов нервно-

мышечный аппарат верхних конечностей отличается экономизацией и выносливостью. Высокий парасимпатический тонус (ВСП), «расслабленная» и эластичная мышца (миотонометрия), упор на проприоцептивный контроль (стабилометрия), стратегия точного, контролируемого, возможно, чуть несколько замедленного двигательного действия (РДО). Можно предположить, что в условиях воздействия нагрузки лица данной группы будут проявлять устойчивость и эффективность произвольной регуляции усилий и движений.

Таблица 10 – Фоновые значения показателей, характеризующих проявление уравновешенности нервных процессов у лиц сравниваемых групп (Me Q1-Q3)

Показатель, ед. изм.	«Скалолазы» (n = 10)	«Единоборцы» (n = 28)	«Неспортсмены» (n = 21)	Н-крит., р-уровень
Среднее время реакции, мс	8,5 (-0,5; 10,0)	3,5 (-9,3; 17,0)	9,0 (-2,0; 13,0)	1,115 0,573
Число точных реакций	28,5 (24,0-32,8)	28,5 (23,8-31,0)	31,0 (26,0-34,0)	2,732 0,255
Число опережений	6,5 (4,5-11,0)	9,0 (6,0-13,3)	7,0 (6,0-10,0)	1,244 0,537
Число запаздываний	12,0 (10,3-14,5)	11,0 (7,8-16,5)	11,0 (7,0-13,0)	1,321 0,517
Сумма времени опережений, мс	-456,0 (-847,5; -291,5)	-687,5 (-1357,3; -336,3)	-641,0 (-771,0; -391,0)	1,950 0,377
Сумма времени запаздываний, мс	767,0 (714,3-1002,5)	797,0 (600,0-1215,8)	758,0 (618,0-1171,0)	0,139 0,933

Оценка нервно-мышечного аппарата «единоборцев» отражает готовность к быстрому и точному действию. В целом характеристика функционального состояния единоборцев следующая: менее выраженный парасимпатический тонус, «готовая» к усилию мышца (миотонометрия), лучший зрительный контроль позы (стабилометрия), оптимальный точный контроль мышечного усилия (динамометрия) и тенденция к опережающим реакциям (РДО). Особенности произвольной регуляции усилий и движений заключаются в скорости, точности и мощности управляемых действий.

В группе контроля («неспортсмены») отмечается отсутствие специфических адаптаций. Показатели исследуемых систем соответствуют статистической норме здорового человека, без выраженных особенностей.

3.2. Анализ реактивности функциональных систем после воздействия нагрузочной пробы и периода восстановления

В данном разделе диссертационного исследования представлена интерпретация показателей систем произвольной регуляции усилий и движений, а также автономной нервной системы на этапах после нагрузочной пробы (реактивность) и периода активного отдыха (восстановление). Следует акцентировать внимание на применении в сравниваемых группах перкуссионного массажа как средства срочного восстановления между сериями изометрической мышечной нагрузки в рамках функциональной пробы, а также в период восстановления после нее.

Анализ полученных данных построен на сравнении направленности и выраженности изменений исследуемых показателей. Качественное восстановление характеризуется возвращением показателей к исходным значениям или их суперкомпенсацией.

Согласно анализа Н-критерия Краскела-Уолиса, на исследуемых этапах межгрупповых различий не выявлено (табл. 11). Внутригрупповые различия ряда показателей выявлены в группе скалолазов. Реактивность вегетативной нервной системы выражена в значимом снижении на 10,5 % по сравнению с фоновым RRNN ($Z = -2,295$; $p = 0,022$), увеличении на 6,6 % SDNN ($Z = -2,501$; $p = 0,012$), и снижении на 25,8 % pNN₅₀ ($Z = -2,243$; $p = 0,025$). Выявленные изменения характерны для реакции на физическую нагрузку, однако отмечается устойчивость вегетативной регуляции, способной противостоять нагрузочному стрессу. После 10-минутного активного отдыха RRNN не восстановился до фонового уровня (647,5 мс): ЧСС осталась повышенной. Общая вариабельность (SDNN) снизилась на 12,1% ($Z = -2,193$; $p = 0,028$).

Таблица 11 – Значения показателей временного анализа ВРС у лиц сравниваемых групп после воздействия нагрузочной пробы и периода восстановления (Me Q1; Q3)

Группа	Этап*	RRNN, мс	SDNN, мс	RMSSD, мс	pNN50, %	CV, %
Скалолазы (n = 10)	1	702,5 (675,3; 722,3)	45,5 (36,0; 68,5)	25,0 (18,0; 39,5)	6,2 (0,6; 18,6)	6,7 (5,5; 9,3)
	2	628,5 (560,5; 700,8)	48,5 (30,0; 64,0)	25,5 (15,8; 30,5)	4,6 (1,0; 8,8)	8,3 (4,8; 9,9)
	3	647,5 (586,0; 665,0)	40,0 (28,0; 56,8)	26,0 (15,5; 32,8)	5,8 (1,4; 10,9)	6,0 (4,5; 8,4)
Единоборцы (n = 14)	1	639,0 (591,0; 755,0)	42,0 (27,0; 55,0)	22,0 (12,0; 26,0)	3,1 (0,0; 6,9)	5,6 (4,1; 7,4)
	2	692,0 (621,0; 715,0)	33,0 (27,0; 57,0)	21,0 (15,0; 34,0)	4,6 (0,0; 9,9)	4,9 (4,1; 8,5)
	3	693,0 (628,0; 769,0)	37,0 (33,0; 51,0)	22,0 (19,0; 31,0)	4,6 (1,5; 10,1)	5,6 (4,6; 7,1)
Неспортсмены (n = 12)	1	652,5 (594,8; 719,0)	37,5 (32,0; 47,0)	24,5 (12,0; 29,8)	3,1 (0,8; 7,9)	5,5 (4,5; 7,2)
	2	685,0 (558,0; 750,0)	36,5 (28,3; 52,5)	20,5 (14,8; 38,5)	3,1 (1,2; 13,8)	5,7 (4,6; 6,9)
	3	691,5 (624,5; 782,5)	35,0 (28,5; 57,5)	25,0 (17,5; 39,0)	5,9 (0,8; 13,9)	4,6 (4,3; 7,6)
Н-крит. р-ровень	1	0,295; 0,86	2,002; 0,36	1,966; 0,37	1,146; 0,56	2,582; 0,28
	2	0,087; 0,96	0,812; 0,67	1,939; 0,38	3,181; 0,20	1,024; 0,60
	3	1,913; 0,38	0,014; 0,99	0,453; 0,80	0,048; 0,98	0,683; 0,71

Примечание: этап 1 – покой, фон (до воздействия нагрузочной пробы); 2 – после воздействия нагрузочной пробы; 3 – после периода активного восстановления

После 10-минутного активного отдыха RRNN не восстановился до фонового уровня (647,5 мс): ЧСС осталась повышенной. Общая вариабельность (SDNN) снизилась на 12,1% ($Z = -2,193$; $p = 0,028$).

Скалолазы демонстрировали устойчивость вегетативной системы к функциональной нагрузочной пробе, при этом наблюдается неполное восстановление через 10 минут. Автономная нервная система настроена на длительную работу, и процессы восстановления у скалолазов более длительные. Массаж между сериями нагрузки, возможно, не оказал ожидаемого быстрого

стимулирующего воздействия на парасимпатическую активность (при этом RMSSD практически не менялся).

Статистически значимых внутригрупповых различий в группе «единоборцы» относительно фоновых значений не выявлено. Однако некоторые особенности реактивности считаем важным отметить.

Внутригрупповые различия ряда показателей выявлены в группе скалолазов. Реактивность вегетативной нервной системы выражена в значимом снижении на 10,5 % по сравнению с фоновым RRNN ($Z = -2,295$; $p = 0,022$), увеличении на 6,6 % SDNN ($Z = -2,501$; $p = 0,012$), и снижении на 25,8 % pNN₅₀ ($Z = -2,243$; $p = 0,025$). Выявленные изменения характерны для реакции на физическую нагрузку, однако отмечается устойчивость вегетативной регуляции, способной противостоять нагрузочному стрессу.

После 10-минутного активного отдыха RRNN не восстановился до фонового уровня (647,5 мс): ЧСС осталась повышенной. Общая вариабельность (SDNN) снизилась на 12,1% ($Z = -2,193$; $p = 0,028$).

Скалолазы демонстрировали устойчивость вегетативной системы к функциональной нагрузочной пробе, при этом наблюдается неполное восстановление через 10 минут. Автономная нервная система настроена на длительную работу, и процессы восстановления у скалолазов более длительные. Массаж между сериями нагрузки, возможно, не оказал ожидаемого быстрого стимулирующего воздействия на парасимпатическую активность (при этом RMSSD практически не менялся).

Статистически значимых внутригрупповых различий в группе «единоборцы» относительно фоновых значений не выявлено. Однако некоторые особенности реактивности считаем важным отметить.

Реакция на нагрузочную пробу проявилась увеличением RRNN на 8,3 % (т.е. ЧСС снизилась относительно фона); снижением тонуса (SDNN) – на 21,4 % и увеличением на 48,4 % показателя стационарности ритма (pNN50). Реакцию на комбинированное воздействие (нагрузка + массаж) в рамках функциональной пробы можно интерпретировать как дестабилизацию вегетативной регуляции

(увеличение $pNN50$ на фоне снижения $SDNN$). Вероятно, массаж оказал релаксирующее действие, нивелировав развитие нагрузочного стресса.

Анализ изменений показателей ВРС отражает потенциал ВНС к быстрой активации восстановительных процессов: $RRNN$ сохранился на повышенном уровне (693,0 мс), а $SDNN$ увеличился относительно предыдущего этапа ($p > 0,05$), но не достиг исходного фонового уровня. Сохранение значения $pNN50$ свидетельствует о неполном восстановлении с точки зрения стационарности ритма сердца единоборцев.

В группе «неспортсмены» реакция ВНС, равно как восстановление имеет выраженность, однако не поддерживается статистически. Так, после нагрузочного теста отмечается тенденция к снижению ЧСС (повышение $RRNN$ на 5 %) на фоне снижения $RMSSD$ (на 16,3 %). Яркий парадоксальный эффект воздействия средств восстановления нетренированного организма. 10-минутное активное восстановление у лиц данной группы проявилось в значимом повышении $RMSSD$ ($Z = -1,989$; $p = 0,047$) – активность парасимпатического отдела ВНС на фоне повышения $pNN50$ ($Z = -2,032$; $p = 0,042$), указывающего на отклонение от стационарности временных параметров кардиоритма. Для нетренированных лиц нагрузка функциональной пробы значительная, но массаж оказал выраженный компенсаторный, релаксирующий эффект, который привел к активации парасимпатического отдела сверх исходного уровня. Это демонстрирует высокую эффективность массажа для данной группы.

Таким образом, характеризуя вегетативный уровень произвольной регуляции движений и усилий, выявлены разные типы вегетативного реагирования на комбинированную пробу (нагрузка + массаж): у скалолазов – классическая устойчивость к нагрузке, но замедленное восстановление (доминирует стабильность, а не срочное восстановление); у единоборцев и «неспортсменов»: быстрая активация восстановительных процессов под влиянием массажа, приводящая к состоянию более глубокого покоя, чем исходный фон (нивелировалась типичная реакция на нагрузку и ускорялось восстановление).

Далее представлена интерпретация динамики показателей тонометрии – центрального артериального давления (АД), как показателя, маркирующего гемодинамические реакции, вызванные комбинированным воздействием (нагрузка + массаж).

Анализ Н-коэффициентов Краскела-Уоллиса (межгрупповое сравнение) указывает на целесообразность апостериорного сравнения показателей в группах испытуемых (табл. 12).

Таблица 12 – Значения показателей артериального давления и частоты сердечных сокращений у лиц сравниваемых групп после воздействия нагрузочной пробы и периода восстановления (Me (Q1; Q3))

Группа	Этап	Систолическое АД, мм рт.ст.	Диастолическое АД, мм рт.ст.	Частота сердечных сокращений, уд/мин
Скалолазы (n = 10)	1	125,0 (119,5; 129,0)	77,5 (70,3; 81,3)	86,5 (79,0; 91,8)
	2	120,0 (110,8; 127,0)	77,5 (75,0; 83,3)	94,5 (84,5; 104,3)
	3	116,5 (108,5; 125,5)	74,0 (72,0; 83,0)	94,5 (84,3; 102,5)
Единоборцы (n = 14)	1	128,5 (124,0; 134,5)	85,0 (78,8; 92,8)	84,5 (76,8; 96,0)
	2	126,0 (122,5; 132,8)	84,0 (76,5; 87,8)	87,5 (83,0; 96,3)
	3	129,0 (125,0; 135,3)	83,5 (74,0; 87,3)	81,5 (78,3; 97,5)
Неспортсмены (n = 12)	1	121,0 (105,5; 124,0)	74,0 (68,0; 78,0)	77,5 (70,0; 87,5)
	2	118,5 (108,5; 123,3)	74,0 (67,5; 78,0)	79,0 (74,5; 91,3)
	3	114,5 (112,0; 120,0)	68,0 (64,3; 77,5)	81,0 (77,3; 97,3)
Н-критерий р-уровень	1	5,952; 0,051	8,379; 0,015	1,589; 0,452
	2	3,761; 0,153	4,759; 0,093	4,180; 0,124
	3	7,115; 0,029	3,356; 0,187	1,045; 0,593

Примечание: этап 1 – покой, фон (до воздействия нагрузочной пробы); 2 – после воздействия нагрузочной пробы; 3 – после периода активного восстановления

Сравнивая фоновые величины АД, можно отметить различия между скалолазами и единоборцами по диастолическому АД ($U = 34,5$; $p = 0,036$); а также между единоборцами и группой контроля по систолическому АД ($U = 31,5$; $p = 0,022$) и диастолическому АД ($U = 25,5$; $p = 0,007$).

Также значимые различия обнаружены после периода активного восстановления: между значениями систолического АД при сравнении «скалолазы» и «единоборцы» ($U = 32,5$; $p = 0,026$), а также систолического АД между группами «единоборцы» и «неспортсмены» ($U = 31,5$; $p = 0,022$).

Вызывают интерес внутригрупповые различия, как отражения процессов реактивности и восстановления после нагрузочной пробы.

Так, в группе «скалолазы» в качестве адекватной можно считать реакцию на комбинацию интервальной нагрузки и механического массажа, которая выражена в значимом снижении (на 4 %) систолического АД ($Z = -2,810$; $p = 0,005$) и приросте ЧСС – на 9,2 % ($p > 0,05$) относительно фоновых величин (табл. 13). Ожидаемый прирост значений АД (Шабалин А.В. с соавт., 2003) нивелировался эффектом оперативного восстановления, вызванного механическим массажем, применяемым между сериями нагрузки. С другой стороны, это характерный для скалолазов системный адаптивный эффект – реакция на систематическую физическую нагрузку изометрического характера (Edwards J.J. et al., 2023). Указанное выше подтверждается дальнейшим снижением систолического АД на 7,2 % ($Z = -2,429$; $p = 0,015$) относительно фонового значения, что трактуем уже как восстановительный эффект от применения перкуSSIONного массажа. При этом ЧСС увеличился на 9,2 % (при $p > 0,05$).

Ссылаясь на ранее полученные результаты исследований, снижение АД на фоне нагрузки и отсутствие восстановления ЧСС у скалолазов, можно трактовать как типичную реакцию, которая согласуется с данными ВСР. Это может быть признаком преобладания вазодилатирующего (сосудорасширяющего) эффекта от массажа над прессорным эффектом от нагрузки. Их сосудистая система «расслабилась», что привело к падению АД, а поддержание высокой ЧСС может быть компенсаторной реакцией для поддержания кровотока.

Реакция на нагрузку в группе «единоборцы» по исследуемым показателям в целом характеризуется стабильностью. Наблюдается значимое повышение систолического АД на 1,9 % ($Z = -2,920$; $p = 0,004$). После восстановления ЧСС снизилась ниже фонового уровня (81,5 уд/мин).

Единоборцы демонстрируют оптимальную с точки зрения адаптации реакцию. Нагрузка инициировала незначительный прирост ЧСС на фоне повышения систолического АД. Период восстановления характеризовался активацией парасимпатического отдела, что полностью согласуется с данными ВСР (рост RRNN). Таким образом, устойчивость к функциональной нагрузке сердечно-сосудистой системы и оптимальное восстановление результат воздействия массажа.

У неспортсменов, как и у скалолазов, наблюдается снижение АД под влиянием нагрузочной пробы. Однако, в отличие от скалолазов, у них не наблюдается прирост ЧСС, что указывает на менее эффективную компенсаторную регуляцию. Выявленная реакция может свидетельствовать о неустойчивости системы к комбинированному воздействию.

Таким образом, комбинированная проба выявила, что массаж оказал достаточное системное воздействие, особенно на сосудистое русло. В литературных источниках показано, что применение перкуссионного массажа улучшает объем кровотока. Например, по данным D. Needs с соавторами (2023), для протоколов 5- и 10-минутного воздействия при частоте 38 Гц наблюдалось увеличение объема кровотока на 24 и 32 % соответственно. Таким образом, адаптация единоборцев позволяет сердечно-сосудистой системе адекватно управлять этим воздействием, в то время как у скалолазов и неспортсменов оно приводит к более выраженным сдвигам.

Далее, представлена интерпретация динамики показателей миотонометрии — оценки изменения биомеханических свойств мышцы. Применяемый с целью восстановления массаж должен способствовать снижению тонуса и жесткости, повышению эластичности и расслаблению целевой мышцы (табл. 13).

Таблица 13 – Значения показателей миотонометрии у лиц сравниваемых групп после воздействия нагрузочной пробы и периода восстановления (Me Q1; Q3)

Группа	Этап	Frequency, Гц (напряжение, тонус)	Stiffness, Н/м (динамическая жесткость)	Decrement, отн. ед. (эластичность)	Relaxation, мс (время релаксации)
Скалолазы (n = 10)	1	20,1 (18,7-21,2)	390,0 (383,0-425,0)	1,02 (0,92-1,14)	13,1 (11,9-13,3)
	2	23,5 ** (22,2-24,7)	466,0 ** (449,5-503,5)	0,98 (0,91-1,08)	10,9 ** (10,0-11,2)
	3	21,1 (18,9-22,2)	418,5 (358,3-474,3)	0,98 (0,87-1,10)	12,3 (10,6-13,9)
Единоборцы (n = 14)	1	20,0 (18,4-23,1)	410,0 (359,8-437,0)	1,19 (0,97-1,41)	12,8 (11,7-14,1)
	2	22,3 (19,2-25,5)	522,0 ** (361,3-553,8)	1,24 + (0,99-1,38)	9,8 ** (9,1-13,6)
	3	21,6 (19,0-24,8)	438,5 (376,5-513,3)	1,02 *** (0,84-1,21)	11,6 (10,0-13,5)
Неспортсмены (n = 12)	1	21,0 (20,3-22,0)	454,0 (390,8-464,5)	1,31 ++ (1,21-1,53)	11,3 (11,0-12,9)
	2	23,1 (20,9-23,7)	487,5 (464,0-508,3)	1,18 + (1,01-1,30)	10,4 (9,9-10,8)
	3	20,7 (18,9-23,1)	454,0 (415,5-488,8)	1,14 ** (1,06-1,25)	10,7 (10,0-12,4)
Н- критерий p-уровень	1	1,130 0,568	2,874 0,238	7,910 0,019	3,454 0,178
	2	0,354 0,838	0,438 0,803	5,414 0,067	0,346 0,841
	3	1,131 0,568	1,496 0,473	2,181 0,336	1,801 0,406

Примечание: этап 1 – покой, фон (до воздействия нагрузочной пробы); 2 – после воздействия нагрузочной пробы; 3 – после периода активного восстановления; * – внутригрупповые различия относительно фоновых значений (1 этапа) – при $p \leq 0,05$; ** – при $p \leq 0,03$; *** – при $p \leq 0,007$; + – межгрупповые различия относительно группы скалолазов – $p \leq 0,05$; ++ – $p = 0,002$.

Межгрупповые различия обнаружены между фоновыми значениями показателя эластичности (Decrement) между скалолазами и спортсменами ($U = 10$; $p = 0,002$), когда последние демонстрировали относительно низкий уровень эластичности. После нагрузки, сочетанной с массажем, эластичность

исследуемой мышцы у скалолазов, не изменилась; а при сравнении с группой единоборцев ($U = 35$; $p = 0,042$) и контрольной группы ($U = 23$; $p = 0,043$) значительно различалась.

Значимость имеет анализ внутригрупповых различий, выявленных после воздействия функциональной нагрузки и активного 10-минутного восстановления. Так, в группе «скалолазы» нагрузочный тест способствовал повышению мышечного напряжения (Frequency) на 16,9 % ($Z = -2,701$; $p = 0,007$), динамической жесткости (Stiffness) на 19,5 % ($Z = -2,803$; $p = 0,005$) и, соответственно снижению времени релаксации (Relaxation) на 16,8 % ($Z = -2,807$; $p = 0,005$). Классическая реакция на утомление – мышца становится напряженной и жесткой, что сопровождается нарушением способности мышцы к расслаблению после сокращения. При этом эластичность (Decrement) как основное функциональное свойство мышцы – не изменилась.

Значимость имеет анализ внутригрупповых различий, выявленных после воздействия функциональной нагрузки и активного 10-минутного восстановления. Так, в группе «скалолазы» нагрузочный тест способствовал повышению мышечного напряжения (Frequency) на 16,9 % ($Z = -2,701$; $p = 0,007$), динамической жесткости (Stiffness) на 19,5 % ($Z = -2,803$; $p = 0,005$) и, соответственно снижению времени релаксации (Relaxation) на 16,8 % ($Z = -2,807$; $p = 0,005$). Классическая реакция на утомление – мышца становится напряженной и жесткой, что сопровождается нарушением способности мышцы к расслаблению после сокращения. При этом, эластичность (Decrement) как основное функциональное свойство мышцы – не изменилась.

Воздействие перкуссионного массажа, на наш взгляд, реализовало свой восстановительный потенциал: исследуемые показатели, полученные после восстановления, не имеют значимых различий с их фоновыми значениями (табл. 13). Выше представленный анализ указывает на высокие адаптационные возможности нервно-мышечного аппарата.

В группе единоборцев, учитывая наличие внутригрупповых различий, также выявлены эффекты воздействия функциональной нагрузки. Так, показатель,

характеризующий динамическую жесткость (Stiffness), увеличился на ($Z = -2,166$; $p = 0,03$), а время релаксации (Relaxation) сократилось на ($Z = -2,512$; $p = 0,012$)

Ввиду отсутствия значимых различий фоновых и показателей, полученных после восстановительного периода, характеризуем в целом положительные эффекты воздействия перкуссионного массажа. В частности, эластичность (Decrement) исследуемой мышцы снизилась на 14,3 % ($Z = -2,786$; $p = 0,004$).

В группе контроля наблюдались тенденции изменений исследуемых миотонометрических показателей в процессах реактивности и восстановления. Интервальная изометрическая нагрузка в сочетании с перкуссионным массажем между сериями способствовала улучшению показателя (Decrement) эластичности на 9,9 % (при $p > 0,05$), однако после периода восстановления этот показатель улучшился значимо – на 12,9 % ($Z = -2,296$; $p = 0,022$). У неспортсменов нагрузка и массаж оказали положительный «тренирующий» эффект, последовательно улучшая изначально низкую эластичность мышцы. Однако общее восстановление биомеханических свойств протекало менее эффективно, чем у спортсменов.

Резюмируя результаты анализа показателей миотонометрии, отражающих нервно-мышечный уровень произвольной регуляции движений и усилий, можно сделать предварительное заключение о целенаправленном воздействии массажа на мышцу во всех группах, но с разными эффектами. Для скалолазов массаж снял постнагрузочный гипертонус и способствовал восстановлению способности к расслаблению. У единоборцев массаж инициировал суперкомпенсацию по показателю эластичности (Decrement), значительно улучшив это свойство. В группе контроля массаж в комбинации с нагрузкой рассматривается как корректирующая процедура, способствующая повышению исходно низкой эластичности.

Согласуя полученные ранее результаты, можно сформулировать эффекты, выраженные в системных процессах реактивности и восстановления. Так, у скалолазов наблюдается рассогласование указанных процессов: на периферии (мышца) эффект массажа положительный, однако на системном уровне (ВСР, гемодинамика) восстановление запаздывало. Это подтверждает предположения о

системном утомлении, которое не снимается только периферическим воздействием. В группе «единоборцы», напротив, наблюдается синхронизация: и на системном (ВСП, АД), и на периферическом (мышца) уровне массаж способствовал эффективному восстановлению – признак достаточной адаптивности. У неспортсменов воздействие также характеризуется положительными эффектами, но их функциональная система в целом менее устойчива. Таким образом, восстановительная процедура по-разному влияет на организм в зависимости от исходной тренированности и специализации.

До интерпретации динамики показателей стабилотрии, ожидаемой реакцией на утомление является снижение постуральной устойчивости, что может проявляться в увеличении амплитуды колебаний (DX, DY) и, главное – в увеличении площади статокинезиограммы (S). Качественное же восстановление будет характеризоваться возвратом показателей к исходным значениям. Примечательно, что сравнение показателей стабилотрии не выявило межгрупповых различий (табл. 14).

Внутригрупповые различия, выявленные у скалолазов, отражают выраженные изменения устойчивости, зафиксированные лишь после периода восстановления: повышение показателей DY на 75,6 % ($Z = -2,193$; $p = 0,028$) и площади статокинезиограммы – в 2,11 раза ($Z = -2,191$; $p = 0,028$). Скалолазы демонстрируют феномен «отсроченной дестабилизации» – сразу после нагрузки демонстрируют постуральную устойчивость, но в период восстановления равновесие резко нарушается. Это можно объяснить «нервно-мышечной ценой» восстановления: ЦНС, переключая ресурсы на процессы восстановления периферии (мышцы, что мы видели в миотонометрии), снижает контроль над постуральной устойчивостью. Это признак системной адаптации, при которой приоритет отдается восстановлению рабочих мышц, а не поддержанию позы.

У единоборцев регуляция позы после восстановительного периода в целом соответствует фоновым значениям основных показателей, что указывает на восстановление позной регуляции.

Таблица 14 – Значения стабилметрических показателей (проба «глаза открытые») у лиц сравниваемых групп после воздействия нагрузочной пробы и периода восстановления (Me Q1; Q3)

Группа	Этап	$\sim X^\circ$	$\sim Y^\circ$	DX°	DY°	S°
Скалолазы (n = 10)	1	-0,005 (-0,039; 0,092)	-0,043 (-0,279; 0,031)	0,020 (0,012; 0,027)	0,090 (0,069; 0,111)	0,648 (0,468; 0,956)
	2	0,079 (-0,017; 0,131)	0,036 (-0,154; 0,374)	0,016 (0,013; 0,030)	0,114 (0,066; 0,208)	0,790 (0,645; 1,039)
	3	0,085 (-0,121; 0,154)	0,040 (-0,110; 0,307)	0,022 (0,015; 0,040)	0,220 * (0,128; 0,492)	1,369 * (0,810; 2,330)
Единоборцы (n = 14)	1	-0,003 (-0,023; 0,033)	-0,139 (-0,246; 0,059)	0,016 (0,011; 0,022)	0,079 (0,037; 0,092)	0,520 (0,419; 0,798)
	2	0,009 (-0,063; 0,057)	-0,118 (-0,504; 0,324)	0,019 * (0,013; 0,036)	0,131 * (0,094; 0,213)	1,001 * (0,596; 1,332)
	3	0,013 (-0,060; 0,095)	-0,352 (-0,494; 0,347)	0,012 (0,010; 0,019)	0,113 (0,074; 0,193)	0,657 (0,551; 1,077)
Неспортсмены (n = 12)	1	-0,014 (-0,110; 0,021)	-0,133 (-0,459; 0,029)	0,018 (0,012; 0,024)	0,120 (0,065; 0,220)	0,730 (0,539; 1,083)
	2	-0,021 (-0,082; 0,109)	0,224 (-0,037; 0,820)	0,022 * (0,017; 0,038)	0,156 (0,084; 0,364)	1,217 (0,756; 2,011)
	3	0,045 (-0,049; 0,121)	0,265 (-0,438; 0,693)	0,017 (0,009; 0,032)	0,146 (0,093; 0,235)	1,089 (0,631; 1,311)
Н- критерий р-уровень	1	1,164 0,559	0,147 0,929	0,464 0,793	1,653 0,438	1,299 0,522
	2	1,402 0,496	3,308 0,191	0,445 0,801	1,162 0,559	1,820 0,403
	3	0,153 0,926	1,967 0,374	2,690 0,261	2,615 0,271	3,872 0,144

Примечание: этап 1 – покой, фон (до воздействия нагрузочной пробы); 2 – после воздействия нагрузочной пробы; 3 – после периода активного восстановления;
* – внутригрупповые различия относительно фоновых значений (1 этапа) – при $p \leq 0,05$

Однако функциональная проба способствовала ее нарушению судя по повышению DX на 18,8 % ($Z = -2,133$; $p = 0,033$), DY – в 1,66 раза ($Z = -2,103$; $p = 0,035$), S – в 1,9 раза ($Z = -2,291$; $p = 0,022$). Нагрузка у единоборцев вызывает утомление системы равновесия, но за период восстановления она возвращается к норме. Подобный механизм отражает их способность к быстрой мобилизации и быстрому же восстановлению функций ЦНС, отвечающих за координацию.

Реакция на нагрузку в группе контроля проявилась в повышении показателей DX на 22,2 % ($Z = -2,192$; $p = 0,028$) и S – в 1,67 раза ($p > 0,05$). Нагрузка приводит к существенному нарушению равновесия, а восстановительные возможности ограничены, что проявляется в неполном возврате функций к исходному состоянию через 10 минут.

Далее представлены анализ динамики показателей теста «Динамическая треморометрия» (табл. 15), отражающего психомоторный компонент произвольной регуляции движений. Примечательно, что ни на одном этапе обследования не выявлено значимых межгрупповых различий.

Сравнительный анализ внутригрупповых различий выявил ряд особенностей. В группе скалолазов статистически значимых различий не выявлено, однако регуляция движений претерпела некоторые изменения. Так, после функциональной нагрузки на 10,8 % ($p > 0,05$) сократилась длительность выполнения теста, при этом количество, длительность ошибок и процент времени координации практически изменились, что свидетельствует о достаточной эффективности моторного контроля сразу после нагрузки. После периода восстановления регистрируется снижение моторного контроля, выраженное в приросте на 38,9 % количества ошибок ($p > 0,05$) относительно фонового значения – похожий феномен «отсроченной дестабилизации», выявленный ранее в результате анализа стабилметрических показателей.

В группе единоборцев после воздействия физической нагрузки на 4,2 % сократилась длительность выполнения теста ($Z = -2,794$; $p = 0,005$) и на 2,3 % – время координации ($Z = -2,731$; $p = 0,006$). При этом на 11,9 % сократилось количество касаний – ошибок ($p > 0,05$).

Таблица 15 – Значения показателей произвольной регуляции движений у лиц сравниваемых групп после воздействия нагрузочной пробы и периода восстановления (Me Q1; Q3)

Группа	Этап	Длительность пробы, с	Количество касаний	Длительность касаний, с	Время координации, с	Частота касаний, Гц	% времени координации
Скалолазы (n = 10)	1	34,4 (31,3; 42,4)	77,0 (73,5; 112,5)	2,9 (1,9; 3,7)	32,7 (28,2; 39,7)	2,3 (1,9; 3,0)	92,0 (89,5; 94,5)
	2	30,7 (28,9; 38,2)	82,5 (71,3; 99,8)	2,7 (2,2; 3,7)	28,7 (26,5; 36,1)	2,4 (2,1; 2,8)	92,0 (91,0; 94,0)
	3	33,3 (28,4; 36,4)	107,0 (78,0; 113,0)	3,0 (2,5; 3,8)	30,1 (23,6; 34,6)	2,7 (2,3; 3,9)	90,0 (88,0; 93,0)
Единоборцы (n = 14)	1	33,1 (30,5; 45,8)	83,5 (71,8; 102,8)	3,0 (2,8; 3,3)	30,8 (27,3; 42,1)	2,5 (1,8; 2,7)	90,5 (90,0; 94,0)
	2	31,7 ** (26,6; 36,2)	73,5 (43,3; 95,8)	2,6 (2,0; 3,2)	30,1 ** (23,6; 33,1)	2,2 (1,3; 3,1)	91,5 (88,3; 94,8)
	3	31,0 ** (28,0; 33,4)	70,5 (54,3; 83,8)	2,7 (2,1; 3,3)	28,3 ** (24,0; 32,2)	2,5 (1,6; 3,3)	92,0 (87,8; 94,0)
Неспортсмены (n = 12)	1	43,9 (34,4; 46,9)	80,0 (68,0; 90,8)	3,0 (2,5; 4,0)	40,7 (31,8; 44,1)	2,1 (1,8; 2,6)	92,0 (90,3; 93,8)
	2	37,5 ** (27,9; 41,3)	89,0 (74,3; 97,3)	2,7 (2,5; 3,2)	34,8 ** (24,9; 37,9)	2,6 ** (2,1; 2,9)	91,0 (90,0; 93,5)
	3	33,9 * (30,3; 36,8)	81,5 (67,0; 97,8)	2,9 (2,4; 3,8)	30,3 * (28,3; 34,4)	2,3 ** (2,1; 2,9)	91,0 (89,3; 93,0)
Н- критерий; р-уровень	1	1,373; 0,503	0,389; 0,823	0,057; 0,972	1,432; 0,489	1,209; 0,546	0,216; 0,898
	2	0,687; 0,709	0,869; 0,648	0,480; 0,787	0,780; 0,677	0,157; 0,925	0,176; 0,916
	3	0,780; 0,677	2,819; 0,244	0,267; 0,875	0,526; 0,769	0,952; 0,621	0,218; 0,897

Примечание: этап 1 – покой, фон (до воздействия нагрузочной пробы); 2 – после воздействия нагрузочной пробы; 3 – после периода активного восстановления; * – внутригрупповые различия относительно фоновых значений (1 этапа) – при $p \leq 0,05$; ** – то же, при $p \leq 0,02$

Произвольная регуляция движений у лиц этой группы после 10-минутного периода восстановления характеризуется дальнейшим сокращением длительности выполнения теста – на 6,3 % ($Z = -2,794$; $p = 0,005$) и времени координации – на 8,1 % ($Z = -2,731$; $p = 0,006$). На этом фоне на 15,6 % регистрируется сокращение количества касаний ($p > 0,05$).

Согласно полученным данным, можно констатировать оптимальный вариант срочной адаптации моторной функции у единоборцев. Комбинированное воздействие изометрической нагрузки и массажа способствовало стабилизации и повышению точности движений, но при снижении времени координированного (безошибочного) движения.

В группе контроля наблюдаются схожие с единоборцами изменения регуляции движения. После изометрической нагрузки на фоне снижения времени прохождения теста – на 14,6 % ($Z = -2,497$; $p = 0,013$) на 11,3 % повышается количество ошибок ($p > 0,05$) и, соответственно частота касаний ($Z = -2,392$; $p = 0,017$) по сравнению с исходными величинами. Также значительно, на 14,5 % сократилось время координации при выполнении теста ($Z = -2,497$; $p = 0,013$).

Активное восстановление с применением перкуссионного массажа не способствовало оптимизации системы регуляции движений. Так, длительность выполнения пробы и время координации продолжали сокращаться ($Z = -2,090$; $p = 0,037$ и $Z = -2,293$; $p = 0,022$, соответственно), при этом частота касаний сохраняется как относительно высокая ($Z = -2,403$; $p = 0,016$). Анализ результатов позволяет констатировать сравнительно ограниченные компенсаторные возможности центральной регуляции движений у лиц группы контроля.

Далее представлены результаты сравнительного анализа показателей произвольной регуляции усилий, количественное выражение которых представлено в таблице 16.

Учитывая специфику обследуемого контингента, очевидны межгрупповые различия, выявленные на этапе до функциональной пробы.

Так, скалолазы уступают единоборцам по продолжительности удержания усилия ($U = 28,5$; $p = 0,013$) и, соответственно, по показателю выносливости ($U = 30$; $p = 0,019$) и регуляция усилий (% времени за пределами) ($U = 30$; $p = 0,019$). Также, единоборцам уступают и лица группы контроля: продолжительность удержания усилия ($U = 32,5$; $p = 0,026$), показатель выносливости ($U = 36$; $p = 0,048$) и регуляция усилий ($U = 36$; $p = 0,048$).

Таблица 16 – Значения показателей произвольной регуляции усилий у лиц сравниваемых групп после воздействия нагрузочной пробы и периода восстановления (Me Q1; Q3)

Группа	Этап	Продолжительность удержания усилия, с	Показатель выносливости, %	Регуляция усилий (% времени за пределами)
Скалолазы (n = 10)	1	8,5 (8,1; 8,9)	86,1 (82,1; 89,1)	14,0 (10,9; 18,0)
	2	9,6 (9,6; 9,8) **	97,0 (96,0; 98,2) **	3,0 (1,8; 4,0) **
	3	9,5 (9,1; 9,7) *	96,3 (91,3; 97,9) *	3,7 (2,1; 8,7) *
Единоборцы (n = 14)	1	9,3 (8,8; 9,8) +	93,7 (88,8; 97,8) +	6,3 (2,2; 11,2) +
	2	9,6 (9,1; 9,8)	97,2 (92,3; 98,8)	2,8 (1,2; 7,7)
	3	9,5 (9,4; 9,9)	98,7 (96,6; 100,0) *	1,4 (0,0; 4,7) *
Неспортсмены (n = 12)	1	8,2 (7,7; 9,0) ^	84,1 (77,2; 94,1) ^	15,9 (5,9; 22,8) ^
	2	9,7 (8,9; 9,9) *	97,7 (89,8; 99,3)	2,3 (0,7; 10,2)
	3	9,2 (8,8; 9,5) ^^	93,8 (88,8; 95,8) ^^*	6,3 (4,2; 11,3) ^^ *
Н-критерий; р-уровень	1	7,672; 0,022	6,716; 0,035	6,716; 0,035
	2	0,734; 0,693	0,364; 0,834	0,364; 0,834
	3	5,435; 0,066	7,566; 0,023	6,780; 0,034

Примечание: этап 1 – покой, фон (до воздействия нагрузочной пробы); 2 – после воздействия нагрузочной пробы; 3 – после периода активного восстановления; ** – внутригрупповые различия при $p \leq 0,005$; + – межгрупповые различия относительно группы скалолазов при $p \leq 0,05$; ^ – межгрупповые различия относительно группы единоборцев при $p \leq 0,05$; ^^ – то же, при $p \leq 0,02$

После нагрузочной пробы межгрупповых различий не выявлено. Тоже, и после активного 10-минутного восстановительного периода: нет различий между группами «скалолазы» и «единоборцы», равно как и между скалолазами и спортсменами. Однако на этом этапе обследования различия между продолжительностью удержания усилия ($U = 31,5$; $p = 0,022$),

показателем выносливости ($U = 25,5$; $p = 0,007$) и регуляцией усилий (процент времени удержания усилия за пределами) ($U = 28,5$; $p = 0,013$) указывают на сравнительно значимо сниженные исследуемые показатели в группе контроля.

Значимость с позиций оценки реактивности и процессов восстановления имеют внутригрупповые различия показателей регуляции мышечных усилий у лиц сравниваемых групп.

Реакция, вызванная нагрузочным тестом в группе «скалолазы» характеризуется повышением на 12,7 % показателя выносливости, точности ($Z = -2,803$; $p = 0,005$) на фоне сокращения «неэффективного» времени регуляции – в 4,7 раза ($Z = -2,803$; $p = 0,005$) относительно фоновых значений. После периода активного восстановления исследуемые параметры сохранились на достаточно высоком уровне: показатель выносливости ($Z = -2,073$; $p = 0,038$), регуляции усилий (% времени за пределами) ($Z = -2,073$; $p = 0,038$). Установлено, что комбинированное воздействие (нагрузка и массаж) оказало значимый мобилизующий эффект на систему нервно-мышечного контроля у скалолазов. Это свидетельствует о том, что их нервная система, отвечающая за этот специфический навык, находится в состоянии высокой готовности и откликается на нагрузку суперкомпенсацией.

В группе «единоборцы» реакция на нагрузку, выражена в приросте показателя выносливости – на 3,7 % ($p > 0,05$) и сокращении процента времени удержания усилия за необходимыми пределами – в 2,3 раза ($p > 0,05$). Указанные изменения отмечены и после активного восстановления: на 5,3 % ($Z = -2,510$; $p = 0,012$) и в 4,5 раза ($Z = -2,510$; $p = 0,012$), соответственно. Единоборцы отличаются точностью регуляции мышечного усилия. Их функциональная система регуляции демонстрирует постепенную оптимизацию, достигая пика эффективности именно в фазе восстановления. Это отражает способность представителей единоборств к тонкому контролю, необходимому для нанесения быстрых и точных ударов.

В группе «неспортсмены» нагрузочная проба инициировала реакцию, выраженную в увеличении продолжительности удержания усилия ($Z = -2,143$; $p = 0,032$), что обусловило прирост показателя выносливости на 16,2 % ($p > 0,05$) относительно фонового значения. Восстановительный перкуссионный массаж индуцировал снижение показателя выносливости по сравнению со вторым этапом, хотя результат остался выше (лучше) фонового ($Z = -2,499$; $p = 0,012$). Также продолжительность удержания усилия ($Z = -2,547$; $p = 0,011$) и регуляция усилий ($Z = -2,499$; $p = 0,012$) по сравнению с фоном имеют положительную динамику, но уступают значениям относительно второго этапа. У неспортсменов наблюдается подобный (в сравнении со спортсменами), но нестойкий эффект. Нагрузка и массаж индуцировали временное значительное повышение нервно-мышечного контроля (эффект активации).

Однако их система не смогла удержать этот уровень и через 10 минут начала возвращаться к исходному, менее эффективному состоянию.

Анализ оценки динамики показателей теста «Мышечная выносливость», характеризующих нервно-мышечный уровень произвольной регуляции мышечного усилия, выявил значительное положительное влияние на способность к точной регуляции усилия у всех сравниваемых групп. Различия проявились в устойчивости этого эффекта: у единоборцев постепенная оптимизация и высокая стабильность результата на этапе восстановления; в группе «скалолазы» отмечалась выраженная суперкомпенсация сразу после нагрузки с небольшим спадом, но сохранением уровня выше фонового. В группе контроля наблюдался выраженный ($p > 0,05$), но кратковременный эффект с последующим спадом, демонстрирующим, вероятно, отсутствие тренированного навыка.

Далее представлен анализ и интерпретация динамики показателей теста «Реакция на движущийся объект» (РДО) в результате влияния на баланс процессов возбуждения и торможения в ЦНС специфических нагрузок и восстановления (табл. 17).

Таблица 17 – Значения показателей, характеризующих проявление степени уравновешенности нервных процессов у лиц сравниваемых групп после воздействия нагрузочной пробы и периода восстановления (Me Q1; Q3)

Группа	Этап	Число точных реакций	Число опережений	Число запаздываний	Сумма времени опережений, мс	Сумма времени запаздываний, мс
Скалолазы (n = 10)	1	28,5 (24,0; 32,8)	6,5 (4,5; 11,0)	12,0 (10,3; 14,5)	-456,0 (-847,5; -291,5)	767,0 (714,3; 1002,5)
	2	30,5 (28,0; 34,5)	5,5 (3,3; 8,0)	12,5 (9,8; 14,0)	-472,5 (-816,5; -249,8)	945,0 (756,0; 1057,8)
	3	30,5 (29,25; 32,5)	7,5 (6,0; 9,8)	10,0 (9,3; 12,3)	-453,5 (-784,5; -413,5)	664,5 (623,3; 930,5)
Единоборцы (n = 14)	1	24,5 (23,0; 29,8)	8,0 (6,3; 13,8)	12,5 (11,0; 19,8)	-810,5 (-1335,0; -399,3)	1139,0 (690,75; 1410)
	2	28,0 (22,0; 32,0)	8,5 (4,5; 10,0)	10,5 (8,0; 18,8)	-536,0 (-982,5; -319,3)	764,5 (553,3; 1418,8)
	3	29,0 (24,3; 35,8)	7,5 (6,0; 11,8)	11,0 (7,5; 13,5)	-573,0 (-1233,3; -354,0)	722,0 (522,3; 1246,3)
Неспортсмены (n = 12)	1	30,0 (26,5; 31,8)	9,0 (7,0; 10,0)	11,0 (7,8; 14,5)	-725,5 (-916,5; -528,3)	739,5 (661,8; 1162,5)
	2	29,5 (24,8; 32,8)	8,0 (4,5; 13,0)	11,0 (6,75; 13,0)	-383,5 (-752,3; -231,8)	699,0 (467,3; 1171,8)
	3	35,0 (25,0; 36,0)	5,0 (3,0; 6,0)	9,0 (6,0; 13,0)	-346,0 + ^ (-444,0; -209,0)	561,0 (501,0; 751,0)
Н-критерий р-уровень	1	2,527; 0,283	0,749; 0,688	1,246; 0,536	1,608; 0,447	1,689; 0,430
	2	1,480; 0,477	1,935; 0,380	0,520; 0,771	0,947; 0,623	0,778; 0,678
	3	2,869; 0,238	4,970; 0,083	1,224; 0,542	4,613; 0,100	1,853; 0,396

Примечание: этап 1 – покой, фон (до воздействия нагрузочной пробы); 2 – после воздействия нагрузочной пробы; 3 – после периода активного восстановления

Межгрупповые различия показателей теста «РДО» выявлены лишь на этапе после восстановления между скалолазами и неспортсменами по большому числу опережений у первых ($U = 23,5$; $p = 0,043$) и большей сумме времени опережений ($U = 23$; $p = 0,043$). Менее выраженные различия выявлены в сравнении со спортсменами группы «единоборцев» ($p > 0,05$).

Примечательно, что сравнительный анализ показателей уравновешенности нервных процессов внутригрупповых различий не выявил. При отсутствии различий по количеству реакций, определяющим является время той или иной реакции, но с позиций регуляции – вероятности развития утомления или гипервозбуждения. Представляем некоторые изменения, выявленные на уровне тенденции. Так, в группе «скалолазы» после изометрической мышечной нагрузки отмечается незначительный прирост числа точных реакций (на 7,0 % при $p > 0,05$). Баланс между опережениями и запаздываниями практически не изменился по сравнению с фоновым и отражает преобладание тормозных реакций. При сохранении значения суммы времени опережения на 23,2 % увеличилась сумма времени запаздываний, что указывает на вероятность доминирования в дальнейшем (при сохранении условий нагрузки) процессов торможения. После периода активного восстановления в группе сохраняется число точных реакций, однако при незначимом увеличении числа опережений на фоне сокращения числа запаздываний сократилось суммарное время запаздываний на 29,7 % по сравнению со вторым этапом обследования. Перкуссионный массаж, проводимый в период восстановления способствует повышению процессов возбуждения в ЦНС. Выявленные особенности рассматриваются нами как часть общей стратегии восстановления: переход от процессов «экономии и контроля» (с тенденцией к запаздыванию на фоне) к более активному состоянию, возможно, для компенсации других изменений (например, ухудшения равновесия). Такая перестройка процессов может характеризовать гибкость (пластичность) ЦНС скалолазов (Colomer-Poveda D. et al., 2023).

В группе «единоборцы» воздействие нагрузочной пробы способствует повышению числа точных реакций (на 14,3 % при $p > 0,05$) на фоне сокращения

времени, затраченного на опережающие (на 33,9 % при $p > 0,05$) и на запаздывающие реакции (на 32,9 % при $p > 0,05$). После этапа активного восстановления, выявленные выше тенденции сохраняются. Таким образом, единоборцы продемонстрировали оптимизацию нервных процессов под воздействием пробы, выраженную в повышении точности и сбалансированности реакций, что отражает высокую лабильность и адаптивность процессов уравниваемости в ЦНС.

Аналогичные тенденции фиксируются и в группе «неспортсмены». Реагируя на нагрузку функциональной пробы, при сохранении количества точных реакций, а также опережений и запаздываний, в 1,89 раза ($p > 0,05$) сокращается сумма времени запаздываний. Статистически незначимые, но выраженные изменения обнаружены в этой группе обследованных после периода восстановления. Отмечался дальнейший прирост точных реакций (на 18,6 % по сравнению со вторым этапом и на 16,7 % – по сравнению с фоновым значением ($p > 0,05$)) за счет сокращения времени опережений (в 2,1 раза при $p > 0,05$) и запаздываний (в 1,3 раза при $p > 0,05$) по сравнению с фоновыми значениями. Комбинированное воздействие (нагрузки и массажа) оказало на ЦНС выраженный нормализующий и стимулирующий эффект, приведя к наилучшим за все замеры показателям уравниваемости. Однако именно в период восстановления произошла существенная оптимизация процессов высшей нервной деятельности.

Подводя итог оценке и анализу динамики показателей РДО, характеризующих психомоторный уровень произвольной регуляции движений, можно заключить, что нагрузочная проба, комбинированная массажем, имеет разные «мишени» воздействия. Так, выраженное влияние на центральные механизмы регуляции выявлено именно у неспортсменов. В то же время у спортсменов нервные процессы ЦНС изначально хорошо сбалансированы и отражают «избранную» оптимизацию механизмов произвольной регуляции движений и усилий.

3.3. Взаимосвязь нейромышечных и нейродинамических показателей в группах сравнения до, после нагрузочной пробы и после 10-минутного периода восстановления

Целесообразность применения корреляционного анализа (Баврина А.П. с соавт., 2021; Мальцев В. П. с соавт., 2023) обоснована, необходимостью оценки структуры взаимосвязей показателей функциональной системы, обеспечивающей произвольную регуляцию функций (движений и усилий) на различных ее «уровнях»: центральном (показатели теста «РДО»), нейромышечном (показатели миотонометрии) и психомоторном (показатели тестов «Динамическая треморометрия» и «Мышечная выносливость»).

Таблица 18 – Корреляционные связи в группе «скалолазы» до, после нагрузочной пробы и после 10-минутного периода восстановления

<i>До нагрузочной пробы (фон)</i>
• «число опережений (РДО)» и «время опережений (РДО)» ($r = -0,994$; $p < 0,001$); • «число запаздываний (РДО)» и «время запаздываний (РДО)» ($r = 0,888$; $p = 0,001$); • «точность реакций (РДО)» и «число опережений (РДО)» ($r = -0,685$; $p = 0,029$); • «точность (РДО)» и «время опережений (РДО)» ($r = 0,657$; $p = 0,039$); • «эластичность мышцы» и «число ошибок в треморометрии» ($r = 0,678$; $p = 0,031$); • «эластичность мышцы» и «время на ошибки в треморометрии» ($r = 0,678$; $p = 0,031$)
<i>После нагрузочной пробы</i>
• «число запаздываний (РДО)» и «время запаздываний (РДО)» ($r = 0,683$; $p = 0,03$); • «число опережений (РДО)» и «мышечная выносливость» ($r = 0,668$; $p = 0,035$); • «время опережений (РДО)» и «время удержания усилия» ($r = -0,659$; $p = 0,038$); • «время опережений (РДО)» и «мышечная выносливость» ($r = -0,705$; $p = 0,023$); • «время запаздываний (РДО)» и «мышечная жесткость» ($r = -0,770$; $p = 0,009$); • «число запаздываний (РДО)» и «мышечная жесткость» ($r = -0,640$; $p = 0,046$); • «время запаздываний (РДО)» и «мышечное расслабление» ($r = 0,648$; $p = 0,043$)
<i>После 10-минутного отдыха</i>
• «число запаздываний (РДО)» и «время запаздываний (РДО)» ($r = 0,793$; $p = 0,006$); • «число опережений (РДО)» и «число ошибок в треморометрии» ($r = 0,663$; $p = 0,037$)

Далее представлена интерпретация результатов корреляционного анализа исследуемых показателей в группе «скалолазы», полученных до функциональной пробы. Отрицательная корреляция показателей «число опережений» и «время

опережений» в тесте РДО свидетельствует о лабильности процессов возбуждения. Со стороны нервной системы наблюдается импульсивность при сохранении точности, при этом минимизируются длительные периоды ошибочных (неточных) действий. Напротив, сильная положительная связь «число запаздываний» и «время запаздываний» указывает на инертность процессов торможения, которую можно рассматривать как вариант предотвращения перевозбуждения нервной системы. Точность двигательных реакций (в тесте РДО) достигается низким количеством опережающих реакций, но достаточной их длительностью. На этапе «до нагрузки» подобные взаимосвязи отражают специфическую «поисковую» стратегию достижения высокой общей точности.

Выявленные умеренной тесноты положительные корреляции показателей «эластичность мышцы» с «числом ошибок в треморометрии» и «длительностью ошибок в треморометрии» отражают специфичность нейромышечного, а точнее – связочно-мышечного аппарата у скалолазов, выраженная в т.н. «жесткой силе». Очевидно, что для точного движения (в тесте «Динамическая треморометрия») требуется соответствующий мышечный тонус и жесткость для стабилизации суставов кисти. В случае со скалолазами, обеспечение тонкого моторного контроля, минимизирующего тремор и, следовательно – ошибки достигается оптимальным балансом между эластичностью и жесткостью связочно-мышечного аппарата.

Анализ взаимосвязей показателей, полученных *после нагрузочной пробы* и отражающих эффекты утомления, вызванного интервальной изометрической нагрузкой у скалолазов. Положительную связь «числа опережений» («РДО») и «мышечной выносливости» (тест «Динамометрия») можно трактовать следующим образом: чем выше мышечная выносливость, тем выше активация процессов возбуждения. Это компенсаторный процесс (механизм), поддерживающий работоспособность на фоне утомления: ЦНС повышает уровень активации (импульсивности), что приводит к увеличению количества опережающих реакций в тесте «РДО».

В дополнение к указанному выше, выявлена отрицательная взаимосвязь «времени опережений» (РДО) со «временем удержания усилия» и «мышечной выносливостью» (тест «Динамометрия»). Чем выше выносливость и время удержания усилия, тем меньше общее время опережающих реакций. При большем количестве опережений, их длительность меньше, что указывает на эффективность компенсаторного механизма: нервная система «сбивается», но быстро корректирует ошибку. Характеризуем данные корреляции как признак лабильности и устойчивости нервных процессов, проявляемых у скалолазов и в условиях утомления.

Закономерными, на наш взгляд, являются сильные отрицательные связи «мышечной жесткости» (миотонометрия) со «временем» и «числом запаздываний» (РДО): чем выше мышечная жесткость после нагрузочного тестирования, тем меньше ошибок и времени запаздываний. После изометрической нагрузки мышца закономерно становится более жесткой (повышается тонус).

Нелогичной является выявленная положительная корреляция между «временем запаздываний» (РДО) и «мышечным расслаблением» (миотонометрия). Возможно, в состоянии острого утомления хорошая способность к расслаблению является следствием снижения способности мышцы поддерживать тонус, что негативно сказывается на нервно-мышечном контроле и ведет к увеличению времени тормозных реакций.

Анализ взаимосвязей исследуемых показателей у скалолазов *после 10-минутного отдыха*, отражают эффекты восстановления. Так, восстанавливается та же сильная связь между «числом» и «временем запаздываний» (РДО), обнаруженная до нагрузки – базовая архитектура нервной регуляции процессов торможения вернулась к исходному состоянию. Положительная связь «числа ошибок» в тесте «Динамическая треморометрия» с «числом опережений» в «РДО» отражает связь между возбудимостью ЦНС и моторным контролем. Сохраняется повышенная возбудимость (последствия нагрузки) на фоне низкой точности движений (тремор). Предполагаем, что полное восстановление тонкого

моторного контроля требует больше времени, чем восстановление процессов сенсомоторного реагирования.

В продолжение, соблюдая логику интерпретации, представляем результаты корреляционного анализа показателей, полученных до нагрузочной пробы в группе «единоборцы» (табл. 19).

Таблица 19 – Корреляционные связи в группе «единоборцы» до, после нагрузочной пробы и после 10-минутного периода восстановления

<i>До нагрузочной пробы (фон)</i>
• «точность (РДО)» и «число ошибок в треморометрии» ($r = -0,579$; $p = 0,03$); • «число опережений (РДО)» и «время опережений (РДО)» ($r = -0,861$; $p < 0,001$); • «время запаздываний (РДО)» и «время удержания усилия» ($r = -0,566$; $p = 0,035$); • «время запаздываний (РДО)» и «мышечная выносливость» ($r = -0,561$; $p = 0,037$); • «время запаздываний (РДО)» и «время удержания усилия» ($r = -0,566$; $p = 0,035$); • «мышечный тонус» и «мышечная выносливость» ($r = -0,546$; $p = 0,043$); • «мышечный тонус» и «время удержания усилия» ($r = -0,545$; $p = 0,044$); • «мышечная жесткость» и «мышечная выносливость» ($r = -0,577$; $p = 0,031$); • «мышечная жесткость» и «время удержания усилия» ($r = -0,584$; $p = 0,028$)
<i>После нагрузочной пробы</i>
• «время удержания усилия» и «число ошибок в треморометрии» ($r = -0,652$; $p = 0,011$); • «мышечная выносливость» и «число ошибок (треморометрия)» ($r = -0,738$; $p = 0,003$); • «время удержания усилия» и «время ошибок (треморометрия)» ($r = -0,554$; $p = 0,04$); • «точность (РДО)» и «число запаздываний (РДО)» ($r = -0,748$; $p = 0,002$); • «точность (РДО)» и «время запаздываний (РДО)» ($r = -0,845$; $p < 0,001$); • «число запаздываний (РДО)» и «время запаздываний (РДО)» ($r = 0,945$; $p < 0,001$); • «число опережений (РДО)» и «время опережений (РДО)» ($r = -0,781$; $p = 0,001$);
<i>После 10-минутного отдыха</i>
• «точность (РДО)» и «число запаздываний (РДО)» ($r = -0,642$; $p = 0,013$); • «точность (РДО)» и «время запаздываний (РДО)» ($r = -0,639$; $p = 0,014$); • «число опережений (РДО)» и «время опережений (РДО)» ($r = -0,885$; $p < 0,001$); • «число запаздываний (РДО)» и «время запаздываний (РДО)» ($r = 0,929$; $p < 0,001$); • «мышечный тонус» и «мышечная выносливость» ($r = -0,753$; $p = 0,002$); • «мышечная жесткость» и «мышечная выносливость» ($r = -0,797$; $p = 0,001$); • «мышечная релаксация» и «мышечная выносливость» ($r = 0,801$; $p = 0,001$); • «мышечная выносливость» и «число запаздываний (РДО)» ($r = -0,652$; $p = 0,011$); • «мышечная выносливость» и «время запаздываний (РДО)» ($r = -0,713$; $p = 0,004$); • «мышечный тонус» и «число запаздываний (РДО)» ($r = 0,656$; $p = 0,011$); • «мышечный тонус» и «время запаздываний (РДО)» ($r = 0,613$; $p = 0,02$); • «мышечная жесткость» и «число запаздываний (РДО)» ($r = 0,555$; $p = 0,04$); • «мышечная жесткость» и «время запаздываний (РДО)» ($r = 0,541$; $p = 0,046$); • «мышечная релаксация» и «число запаздываний (РДО)» ($r = -0,588$; $p = 0,027$); • «мышечная релаксация» и «время запаздываний (РДО)» ($r = -0,574$; $p = 0,032$)

Отрицательная корреляция «числа ошибок» («Динамическая треморометрия» и «точности» (РДО) свидетельствует о фоновой связи между устойчивостью нервных процессов и качеством моторного контроля. При этом отрицательная взаимосвязь «числа» и «времени опережений» (РДО) (как и у скалолазов) указывает на лабильность процессов возбуждения: преждевременные реакции есть, но они кратковременны, система оперативно саморегулируется.

Отрицательная связь «времени запаздываний» (РДО) с «временем удержания усилия» и «мышечной выносливостью», на наш взгляд отражает специфичность регуляции функций у занимающихся единоборствами. В частности, чем меньше проявлений торможения в ЦНС, тем выше показатели изометрической выносливости. Соревновательная техника движений единоборцев не предусматривает длительного поддержания усилия, эта особенность не является важной. Можно предположить, что проявление процессов торможения до нагрузки (до тренировки, соревновательной схватки и т.п.) будет негативно сказываться на способности удерживать усилие.

Логичными являются отрицательные взаимосвязи «мышечного тонуса», «мышечной жесткости» с «мышечной выносливостью» и «временем удержания усилия»: чем выше исходный тонус и жесткость мышцы, тем ниже показатели мышечной выносливости. Высокий тонус, как правило, характеристика готовности мышцы к быстрому и мощному, но энергозатратному сокращению. Для удержания усилия (выносливости) нужна сравнительно экономная работа, а высокий мышечный тонус быстро приводит к ее утомлению.

Значимость имеют результаты корреляционного анализа показателей, полученных на фоне утомления единоборцев после нагрузочной пробы.

Отрицательные корреляции «числа и времени ошибок» в треморометрии с «временем удержания усилия» и «мышечной выносливостью» указывает на зависимость устойчивости моторного контроля от способности мышцы противостоять утомлению.

Основной вклад в снижение точности после нагрузки вносят тормозные реакции (запаздывания), что отражается в сильных отрицательных корреляциях

«точности» с «числом и временем запаздываний» (РДО), а также «числа» и «времени запаздываний» (РДО). Можно полагать, что это доминирующее последствие нагрузки: развивается охранительное торможение в ЦНС, тормозные процессы становятся инертными, что напрямую снижает точность реакции. Это критично для единоборцев, так как не позволяет быстро восстановить готовность к действию.

Несмотря на утомление, лабильность процессов возбуждения сохраняется, опережения остаются кратковременными (отрицательная взаимосвязь «числа» и «времени опережений» (РДО)). Это показывает, что механизмы возбуждения у единоборцев более тренированы и устойчивы к утомлению, чем механизмы торможения.

После 10-минутного активного отдыха в группе единоборцев значительно увеличилось количество взаимосвязей, характеризующих интенсивность и напряженность взаимодействия центрального и нервно-мышечного аппарата при реализации произвольной регуляции движений и усилий.

Сохраняющиеся отрицательные связи между «точностью реакций» с «числом и временем запаздываний» (РДО) свидетельствуют о неполном восстановлении баланса нервных процессов. Торможение – основной фактор, снижающий точность. Отрицательная связь числа и времени опережений (РДО), а также положительная – «число и времени запаздываний» (РДО) отражают паттерны, характерные для состояния утомления: высокая лабильность возбуждения и высокая инертность торможения. 10-минутного восстановительного периода недостаточно для единоборцев, чтобы полностью нивелировать последствия нагрузочной пробы на тормозные процессы.

Характеризуя отрицательные связи «мышечного тонуса и жесткости» (миотонометрия) с показателем «мышечной выносливости» (тест «Динамометрия»), а также положительную связь «мышечной релаксации» (миотонометрия) с «мышечной выносливостью», можно заключить, что взаимосвязь между тоническим состоянием мышцы и выносливостью усиливается и становится ведущей. Чем выше тонус и жесткость, тем ниже

проявление выносливости, при этом – чем выше способность мышцы к расслаблению, тем выше ее выносливость. Таким образом, для восстановления работоспособности единоборцу критически важно снизить мышечный тонус, перевести мышцу в экономный режим работы.

Нельзя не отметить целый комплекс связей выносливости, тонуса и показателей РДО, отражающий следующие частные заключения (интерпретации): чем лучше выносливость, тем меньше тормозных процессов в ЦНС; чем выше тонус, тем больше выражено торможение нервных процессов; чем выраженнее расслабление, тем меньше торможение.

Так, после 10-минутного активного восстановления выстраивается определенная система взаимосвязей: мышечный тонус ↔ выносливость ↔ состояние ЦНС. Высокий тонус мышцы негативно влияет на выносливость и, что особенно важно, поддерживается состоянием торможения в центральной нервной системе. Напротив, способность мышцы к расслаблению положительно влияет и на выносливость, и на восстановление оптимального уровня возбудимости ЦНС. Выявленный комплекс взаимодействий «разноуровневых» показателей демонстрирует тесную связь периферического (мышечного) и центрального звеньев процессов утомления и восстановления у единоборцев.

Очевидно, что нервно-мышечная система нетренированных лиц сравнительно менее адаптирована к специфическим нагрузкам. По данным многочисленных исследований, реакции на нагрузку и восстановление, как правило, менее эффективные, менее экономичные и более переменные (Honorato R. et al., 2021; Mehmet K., 2021; Aslam S. et al., 2025); баланс между возбуждением и торможением – менее устойчив (Netz Y. et al., 2023).

В группе контроля, которую составляли лица, систематически не занимающиеся спортом, анализ корреляционных взаимосвязей показателей, полученных до нагрузочной пробы, выявил как общие, так и отличительные процессы взаимодействия исследуемых уровней функциональной системы – произвольной регуляции движений и усилий (табл. 20).

Таблица 20 – Корреляционные связи в группе контроля до, после нагрузочной пробы и после 10-минутного периода восстановления

<i>До нагрузочной пробы (фон)</i>
• «число опережений (РДО)» и «время опережений (РДО)» ($r = -0,932$; $p < 0,001$); • «число запаздываний (РДО)» и «время запаздываний (РДО)» ($r = 0,899$; $p < 0,001$); • «число запаздываний (РДО)» и «число ошибок (треморометрия)» ($r = 0,752$; $p = 0,012$); • «число запаздываний (РДО)» и «время ошибок (треморометрия)» ($r = 0,697$; $p = 0,025$); • «время запаздываний (РДО)» и «число ошибок (треморометрия)» ($r = 0,709$; $p = 0,022$); • «время запаздываний (РДО)» и «время ошибок (треморометрия)» ($r = 0,697$; $p = 0,025$); • «мышечный тонус» и «число ошибок (треморометрия)» ($r = -0,711$; $p = 0,021$); • «мышечный тонус» и «время ошибок (треморометрия)» ($r = -0,705$; $p = 0,023$); • «точность (РДО)» и «мышечная жесткость» ($r = 0,717$; $p = 0,02$);
<i>После нагрузочной пробы</i>
• «число запаздываний (РДО)» и «число ошибок (треморометрия)» ($r = 0,752$; $p = 0,012$); • «точность (РДО)» и «число опережений (РДО)» ($r = -0,720$; $p = 0,019$); • «число запаздываний (РДО)» и «время запаздываний (РДО)» ($r = 0,844$; $p < 0,002$);
<i>После 10-минутного отдыха</i>
• «мышечная эластичность» и «число ошибок (треморометрия)» ($r = -0,760$; $p = 0,011$); • «мышечная релаксация» и «удержание мышечного усилия» ($r = -0,668$; $p = 0,035$); • «точность (РДО)» и «число опережений (РДО)» ($r = -0,713$; $p = 0,021$); • «точность (РДО)» и «число запаздываний (РДО)» ($r = -0,718$; $p = 0,019$); • «точность (РДО)» и «время опережений (РДО)» ($r = 0,735$; $p = 0,016$); • «точность (РДО)» и «время запаздываний (РДО)» ($r = -0,864$; $p = 0,001$); • «число опережений (РДО)» и «время опережений (РДО)» ($r = -0,969$; $p < 0,001$); • «число запаздываний (РДО)» и «время запаздываний (РДО)» ($r = 0,899$; $p < 0,001$);

Так, отрицательная связь «числа и времени опережений» (РДО) и положительная – «числа и времени запаздываний» (РДО), характеризуют те же базовые паттерны, выявленные в группе спортсменов: лабильность возбуждения (опережения кратковременны) на фоне инертности торможения (запаздывания имеют относительно длительные временные промежутки). При этом, у неспортсменов эти связи сильнее, чем у спортсменов.

Комплекс положительных связей «число и время запаздываний» (РДО) с «числом и временем ошибок» в тесте «Динамическая треморометрия» трактуется нами в качестве особенности проявления фонового функционального состояния у неспортсменов. Большое число тормозных реакций в нервной системе (запаздываний), проявляется большим числом касаний – ошибок при выполнении

точных движений. Вероятно, у нетренированных людей качество моторного контроля в значительной степени лимитируется исходным уровнем тормозных процессов в ЦНС. Инертность торможения прямо негативно сказывается на координации движения.

Отрицательная корреляция миотонометрического показателя «мышечный тонус» с «числом и временем ошибок» в тесте «Динамическая треморометрия»: чем выше исходный мышечный тонус, тем меньше тремор рассматривается как стабилизирующий фактор для нетренированного организма. Тонус обеспечивает необходимую жесткость суставу, что делает движение более стабильным и менее склонным к тремору; низкий тонус ассоциируется с соответствующим моторным контролем. Подобное заключение согласуется с выявленной положительной корреляцией «мышечная жесткость» (миотонометрия) с «точностью» (РДО): чем выше жесткость мышцы, тем выше точность реакций. В качестве предварительного вывода можно сделать заключение: более «жесткая», тонизированная мышца у спортсменов обеспечивает лучшую основу для точной работы их нервной системы.

После нагрузочной пробы анализ структуры корреляционных связей исследуемых показателей у спортсменов указывает на специфичность развития утомления, выраженной в резком снижении (до трех) числа взаимосвязей.

Сохраняется сильная положительная связь «числа запаздываний» (РДО) с «числом ошибок» (треморометрия), наблюдаемая в группе до нагрузки. Утомление не меняет базовую схему: моторные ошибки по-прежнему тесно связаны с тормозными процессами в ЦНС. Предложенная функциональная изометрическая нагрузка на фоне перкуссионного массажа все же «усугубляет» ранее выявленную особенность.

Кроме того, проявляется классическая ожидаемая отрицательная связь между «точностью» и «числом опережений» в тесте «РДО»: чем больше опережающих реакций, тем ниже общая точность. При этом сохраняется сильная связь «числа» и «времени запаздываний» (РДО), что указывает на инертность торможения, отмеченная до функциональной пробы.

После активного 10-минутного отдыха отмечается ряд эффектов перкуссионного массажа мышцы-сгибателя пальцев рук у неспортсменов. Установленная отрицательная корреляция миотонометрического показателя «мышечная эластичность» с «числом ошибок», допущенных при треморометрии, отражает положительный признак восстановления с помощью перкуссии. Восстановление эластичности как способности мышцы растягиваться и возвращаться в исходное состояние является важным компонентом готовности к точным движениям, а значит – восстановления оптимального моторного контроля.

После активного восстановления обнаружена отрицательная связь миотонометрического показателя «мышечная релаксация» с динамометрическим показателем «удержание мышечного усилия»: чем лучше мышца расслабляется, тем ниже показатель выносливости (время удержания усилия). На наш взгляд, это свидетельствует о том, что после нагрузки и периода активного восстановления у неспортсменов не происходит целенаправленной мобилизации. Возможно, массаж способствует максимальному расслаблению мышцы, что негативно сказывается на ее способности снова демонстрировать рабочее усилие; т.е. нет механизма управляемого восстановления тонуса, необходимого для выполнения двигательной задачи.

После периода восстановления установлен целый комплекс связей показателя «точность» со всеми показателями, характеризующими реакции опережений и запаздываний: чем больше опережений и запаздываний, тем ниже точность; чем длительнее запаздывания, тем ниже точность; чем длительнее опережения, тем выше точность. Можно предварительно заключить, что точность реакции остается в сильной зависимости от всех типов ошибок (опережений и запаздываний). Причем, торможение (запаздывания) оказывает наибольшее негативное влияние. Нелогичная положительная связь с показателем длительности опережений может указывать на то, что у некоторых лиц после перкуссионного массажа развивается определенная стратегия: они «спешат» и произвольно задерживаются в этом состоянии, чтобы не допустить еще более

негативного запаздывания. Считаем этот компенсаторный процесс неэффективным.

При этом базовые паттерны лабильности возбуждения и инертности торможения полностью восстанавливаются после периода восстановления и даже усиливаются (связи опережений становятся экстремальными сильной), что выражено в отрицательной связи «числа» и «времени опережений», а также положительной связи «числа» и «времени запаздываний» (РДО).

В заключение данного фрагмента исследования целесообразно обобщить полученные результаты – оценки взаимосвязей показателей, характеризующих произвольную регуляцию движений и усилий у лиц сравниваемых групп.

Так, в группе «*скалолазы*» вне динамики периодов функциональной нагрузки и восстановления, отмечаем высокую лабильность возбуждения и инертность торможения. Нервная система скалолазов допускает ошибки (опережающие реакции), но быстро их корректирует (признак подвижной нервной системы). При этом процессы торможения более консервативны и медлительны. Возможно, это проявление защитного механизма от перевозбуждения во время длительной нагрузки. После функциональной пробы скалолазы демонстрируют компенсаторное увеличение возбудимости, вероятно, как вариант (адаптационная стратегия) поддержания работоспособности на фоне утомления ЦНС скалолазов, а перкуссионный массаж повышает уровень ее активации.

Оптимальный мышечный тонус у скалолазов определяет точность реакций в тесте «РДО». Способность адекватно менять тонус (жесткость) в ответ на нагрузку и массаж является положительным фактором, стабилизирующим точность движений и уравновешенность нервных процессов.

Указанная специфичность реактивности организма все же проявляется на фоне неполного восстановления. После 10-минутного отдыха тонкий моторный контроль (тремор) еще не полностью восстановился и остается связанным с уровнем возбудимости ЦНС, в то время как более простые показатели (время реакций) уже вернулись к исходным значениям корреляционных взаимосвязей.

Полученные результаты корреляционного анализа достаточно хорошо отражают специфику адаптации скалолазов: их нервно-мышечная система настроена на эффективную работу в условиях сильного утомления через механизмы увеличения возбудимости и оптимизации мышечного тонуса.

Особенности корреляционного анализа исследуемых показателей, полученных в группе «единоборцы», также выражаются в специфичности реакций (процессов), обусловленных спортивной специализацией. На это указывает исходно высокий мышечный тонус отрицательно связанный с показателем мышечной выносливости. Основным условно негативным эффектом функциональной пробы являлось развитие инертного тормозного состояния в ЦНС, которое напрямую снижало точность двигательных реакций. Таким образом, сочетанным эффектом нагрузочного теста с перкуссионным массажем явилось доминирование скорости реакций над мышечной выносливостью. При этом перкуссионный массаж, проводимый во время нагрузочной пробы способствует сохранению лабильности и устойчивости механизмов возбуждения, специфичных для представителей единоборств. Ключевым фактором восстановления как мышечной выносливости, так и оптимального состояния ЦНС является способность мышцы к релаксации и снижению тонуса. Как и у спортсменов-скалолазов, так и в группе единоборцев наблюдается неполное восстановление функционального состояния ЦНС. 10-минутного активного периода недостаточно для полного устранения последствий нагрузки, особенно для тормозных систем, что проявляется в сохраняющихся взаимосвязях между тонусом мышцы, торможением и мышечной выносливостью.

Однако, в отличие от скалолазов, у которых ЦНС активно компенсировала утомление, у единоборцев утомление проявляется через торможение, а восстановление тесно завязано на способности мышцы к релаксации.

С позиций сравнения физиологических эффектов восстановительного воздействия перкуссионного массажа, значимым, на наш взгляд, является результаты корреляционного анализа показателей, полученные в группе лиц, не занимающихся спортом.

Особенностью этой группы является доминирование торможения, когда нервная система работает по менее гибким, но устойчивым шаблонам (лабильное возбуждение, инертное торможение) с характерной жесткостью взаимосвязей соответствующих показателей. Главным фактором, лимитирующим точность движений (тремор) и точность реакций, является инертность тормозных процессов в ЦНС.

В отличие от спортсменов, для неспортсменов высокий мышечный тонус и жесткость являются положительным фактором, повышающим точность и стабильность движений. После функциональной пробы (в которой между сериями изометрических сокращений) не наблюдается целенаправленных компенсаторных реакций (как например, увеличение возбудимости у скалолазов), что указывает на отсутствие эффективной компенсации. Неполное восстановление после 10-минутного активного отдыха, указанное при описании эффектов, выявленных в группах спортсменов, характерно и для неспортсменов. Выражено это в отсутствии эффективных связей между состоянием мышцы и ее работоспособностью (расслабление негативно связано с выносливостью). Точность произвольного контроля (регуляции) остается «хаотичной» и зависит от всех видов ошибок, что указывает на несбалансированность нервных процессов. Однако массаж, выявляет признак оперативного восстановления на периферии, повышая эластичность исследуемой мышцы.

Таким образом, группа неспортсменов реагирует на функциональную нагрузку неспецифично и восстанавливается менее эффективно по сравнению с группами спортсменов.

Данные, представленные в данном разделе опубликованы в работе: Особенности произвольной регуляции усилий и движений у студентов в динамике нагрузочного тестирования и восстановления / М. В. Громыко, А. С. Беленков, О. Б. Никольская, Е.Ю. Прокопчик, А.С. Ушаков // Психология. Психофизиология. – 2025. – Т. 18, № 3. – С. 67-78. – DOI: 10.14529/jpps250307.

3.4. Оценка факторной структуры функциональных показателей у лиц обследованных групп в динамике функциональной пробы и восстановления

С целью уменьшения размерности исходных данных применяли факторный анализ, результатом которого является переход от множества исходных переменных к существенно меньшему числу новых переменных – факторов. Фактор при этом интерпретировался как причина совместной изменчивости нескольких исходных переменных. Количество факторов, подлежащих интерпретации, определяли, используя график собственных значений (Scree plot). В качестве метода факторизации применяли метод максимального правдоподобия. После вари-макс-вращения (Varimax normalized) получена пятифакторная структура исследуемых признаков. Все признаки однозначно соотносятся по высоким факторным нагрузкам с каждым из факторов. При обозначении и интерпретации содержания фактора по каждой переменной отмечали наибольшую по абсолютной величине факторную нагрузку. В настоящей главе описаны и проанализированы три первых фактора, суммарная дисперсия которых составляла более 50 %.

Математико-статистическая характеристика результатов факторного анализа представлена мерой адекватности выборки Кайзера-Майера-Олкина (КМО) – от 0,600, что указывает на удовлетворительную адекватность выборки обследованных лиц и возможность использовать факторный анализ. Критерий сферичности Бартлетта – 1890-2920,0 у.е. ($p < 0,025-0,001$). Кумулятивные проценты дисперсий пяти факторов в исследуемых выборках представлены в таблицах настоящей главы (рис. 7–9).

Оценка факторной структуры в группе «Скалолазы» (рис. 8).

До нагрузки (до функциональной пробы).

Первый фактор отражает вегетативную устойчивость (CV, SDNN) и эффективность ЦНС (РДО). Можно предположить наличие определенной интеграции уровней регуляции. Обратная связь показателей ВСР и РДО: чем выше SDNN и CV (лучшая вегетативная регуляция), тем меньше запаздываний в

РДО (быстрее реакция), свидетельствует о синхронизации вегетативного и психомоторного уровней у скалолазов. Условное название фактора «Интегральный адаптационный ресурс».

Второй фактор отражает незначительное «предстартовое возбуждение» (повышение ЧСС) как эффект ожидания нагрузки. Положительные веса показателей «количество» и «длительность» касаний указывает на повышенный физиологический тремор. Имеются данные, указывающие на повышенный тонус мышц кисти у скалолазов даже в покое. Увеличение площади колебаний характерно при снижении постуральной устойчивости, причиной которого, на наш взгляд, может быть т.н. «компенсаторная неустойчивость», вызванная фокусировкой на предстоящую нагрузку на мышцы-сгибатели пальцев кисти. Фактор описывает «Преднагрузочную моторно-вегетативную мобилизацию».

До		После		Восстановление	
Переменная	Вес	Переменная	Вес	Переменная	Вес
CV	0,82	Тонус	0,97	RMSSD	0,93
SDNN	0,77	Жесткость	0,92	SDNN	0,90
Число запаздываний	-0,95	ДАД	0,70	CV	0,82
Время запаздываний	-0,92	Время восстановления	-0,92	pNN50	0,80
Количество касаний	0,94	Точные реакции	-0,76	ЧСС	-0,71
Длительность касаний	0,89	Число опережений	0,77	~Y	0,88
ЧСС	0,86	CV	0,73	Число касаний	0,82
S	0,84	Время опережений	-0,86	Время касаний	0,80
Время усилий	0,92	Время запаздываний	-0,82	S	0,75
Выносливость	0,91	Число запаздываний	-0,81	Точные реакции	0,73
Точные реакции	0,84	Частота касаний	0,92	Жесткость	0,98
Время опережений	0,70	Количество касаний	0,90	Тонус мышцы	0,95
Число опережений	-0,71	S	0,88	Расслабление	-0,96
		Длительность касаний	0,85		

Дисперсия 57,6 %

Дисперсия 59,4 %

Дисперсия 57,5 %

Примечание: обозначения – первый фактор; – второй фактор; – третий фактор

Рисунок 8 – Факторные нагрузки первых трех факторов после вращения эталонной модели в группе «скалолазы» на этапах исследования

Таким образом, у скалолазов перед нагрузкой возникает синхронизированное состояние «предготовности», выраженное в повышении тремора и снижении стабильности позы (перераспределение нервного контроля в пользу мышц кисти (антиципация работы) на фоне симпатической активации как части мобилизации функций (повышение ЧСС).

Третий фактор выявляет высокие нагрузки по динамометрии (удержание усилий и показатель выносливости) и точным реакциям в тесте «РДО» указывают на связь между: локальной мышечной устойчивостью кисти (критично для скалолазов) и психомоторным контролем (способность сохранять точность реакций).

Высокие нагрузки «Суммарное время опережений» (т.е. медленные преждевременные реакции) на фоне низкого веса «Число опережений» (меньше ошибок) может означать осознанный контроль скорости – скалолазы сознательно замедляют реакцию, чтобы избежать ошибок (стратегия «лучше медленно, но точно»). С другой стороны, это может быть проявлением антиципации – т.е. предвосхищения движения объекта (свойство ЦНС, которое подвержено тренировке). Указанные процессы и эффекты позволяют обозначить третий фактор как «Интегральная выносливость и точность».

Таким образом, можно представить интегрированную оценку содержания факторов: фактор 1 (CV/SDNN + параметры теста «РДО») – общая адаптация; фактор 2 (тремор + ЧСС) – мобилизация; фактор 3 (выносливость + точность): результат тренированности скалолазов. Общий вывод: у скалолазов все три фактора работают синергично.

После нагрузки (функциональной пробы)

Содержание переменных *первого фактора* отражает доминирование мышечного напряжения (высокие веса показателей миотонометрии «Тонус» и «Жесткость»), выраженного в спазме мышц-сгибателей после изометрической нагрузки. Спазмирование закономерно вследствие накопления метаболитов (лактата) и рефлекторной активации γ -мотонейронов. На данную реакцию указывает и отрицательный вес переменной миотонометрии «Время

расслабления, восстановления» (Relaxation), что характерно для замедленной релаксации мышц вследствие локального утомления (Попова Т.В. с соавт., 2017) Спазм мышц-сгибателей пальцев кисти запускает системную симпатическую активацию и повышает периферическое сопротивление сосудов, что выражено в компенсаторном росте веса переменной «диастолическое АД». Низкий (отрицательный) вес переменной «Число точных реакций» указывает на снижение психомоторного контроля вследствие (гипер)тонуса мышц-сгибателей пальцев кисти, что нарушает мелкую моторику. Таким образом, физиологической основой содержания первого фактора являются локальное мышечное утомление (мышц-сгибателей пальцев кисти), системная симпатикотония (диастолическое АД) на фоне дефицита психомоторного контроля (показатели РДО). Условное название фактора – «Постнагрузочный гипертонусно-вегетативный дисбаланс».

Второй фактор. Развивающееся локальное утомление дестабилизирует процессы психомоторной регуляции, выраженной в высоком весе переменной «Число опережений» на фоне низкого (отрицательного) веса «Время опережений». Скалолазы чаще реагируют преждевременно, но сами реакции кратковременные. Нейромышечное локальное утомление вызывает нарушение антиципации (предвосхищения движения объекта), однако обследуемые пытаются компенсировать эффекты утомления быстрыми, но менее точными действиями (движениями). Отрицательные веса переменных, отражающих число и суммарное время запаздываний, указывают на сохранение базовой скорости обработки сигналов даже при развитии локального утомления.

Так, у скалолазов сохранена парасимпатическая активность (вагусный контроль), что, вероятно, позволяет поддерживать скорость реакций. Физиологической основой реактивности организма относительно содержания второго фактора является со стороны ЦНС – переключение на стратегию «быстрее, но менее точно» (реакции опережения) и АНС – относительно стабильный вес CV можно рассматривать как признак тренированности. Указанное выше позволяет обозначить второй фактор как «Компенсаторная скорость реакций при вегетативной устойчивости».

Третий фактор. Высокие нагрузки по показателям треморометрии указывают на значительное усиление физиологического тремора после функциональной пробы, что выражено в нарушении тонкого моторного контроля мышц-сгибателей пальцев кисти (периферический компонент регуляции). Увеличение площади статокинезиограммы свидетельствует о снижении постуральной устойчивости, отчасти о нарушении проприоцептивного контроля (центральный компонент регуляции). Обобщая указанное выше, фактор обозначаем как «Постнагрузочный тремор и дестабилизация».

Таким образом, первый фактор «демонстрирует» мышечный гипертонус, второй – выявил нарушение точности двигательных реакций, а третий – указывает на тремор и постуральные нарушения у скалолазов после выполнения функциональной пробы.

После периода 10-минутного восстановления

Первый фактор «Оптимальное вегетативное восстановление». Высокие нагрузки по RMSSD, pNN50 и CV свидетельствуют об эффективной вагусной реактивации после 10-минутного сеанса перкуссионного массажа, на что также указывает отрицательный вес ЧСС (-0,71).

Анализ содержания *второго фактора* «Адаптационная постурально-моторная перестройка» позволяет констатировать эффективность перкуссионного массажа с позиций регуляции постурально-треморного комплекса. Так, высокие нагрузки по стабилometрии и треморометрии указывают на сохранение остаточного динамического тремора, вероятно из-за смещения центра тяжести (положение Y) как компенсаторный процесс к утомлению, что также выражено увеличением площади колебаний для поддержания постурального баланса. Однако, несмотря на тремор, скалолазы сохраняют точность движений, что указывает на постепенное восстановление психомоторного контроля. Следует указать, что по сравнению с данными, полученным сразу после функциональной пробы, эффект массажа выражен в уменьшении выраженности тремора (снижение нагрузок переменных треморометрии).

Третий фактор. Явно высокие нагрузки по динамической жесткости (0,98) и тону (0,95) мышц-сгибателей пальцев кисти указывают на сохранение резидуального мышечного напряжения после функциональной пробы, что позволяет сформулировать название фактора: «Резидуальная мышечная ригидность».

Резюмируя оценку факторной структуры показателей, полученной после периода 10-минутного восстановления, можно заключить о сохранении мышечной ригидности, но как об адаптивной ригидности вследствие хронической гипертрофии мышц-сгибателей пальцев, характерной для скалолазов. На это также указывает неполное восстановление эластических свойств мышцы (медленная релаксация (-0,96)), что кроме описанного выше адаптивного эффекта может свидетельствовать о нарушении кальциевого обмена в саркомерах и о дефиците АТФ для активного транспорта Ca^{2+} .

Учитывая сохранение после активного 10-минутного восстановления, выраженного гипертонуса исследуемой мышцы, можно заключить о, вероятно, недостаточной продолжительности массажа для спортсменов-скалолазов. Интегральный анализ восстановительной динамики у скалолазов выявляет три специфических паттерна восстановления: 1) вегетативное восстановление (фактор 1) – нормализация парасимпатической активности; нейромоторная адаптация (фактор 2) – при сохранении тремора повышается точность двигательных реакций; мышечная ригидность (фактор 3) – сохранение жесткости и тону при замедленной релаксации исследуемой мышцы-сгибателя пальцев руки.

Таким образом, перкуссионный массаж (в заданных протоколом параметрах) эффективно восстанавливает автономный баланс и частично тонкий моторный контроль.

Оценка факторной структуры в группе «единоборцы» (рис. 9).

До функциональной пробы

Первый фактор представлен высокими весами RMSSD и pNN50, что указывает на выраженный вагусный контроль как признак оптимальной

адаптации к нагрузкам с одной стороны, с другой – на оптимальное восстановление (в динамике тренировочного процесса обследованных лиц этой группы). Высокие веса SDNN и CV свидетельствуют, кроме того, об общей устойчивости сердечно-сосудистой системы. Изменение центра давления в сагиттальной плоскости может свидетельствовать об оптимальном постуральном контроле, что в свою очередь является основой для точных движений.

Сказанное выше, предварительно указывает на благоприятные условия для эффективного восстановления после нагрузки, особенно при использовании перкуссионного массажа и справедливо к названию фактора – «Базальный вегетативно-постуральный резерв».

При сравнении со скалолазами в аналогичном факторе до функциональной пробы также доминировали показатели ВСР в отсутствии стабилметрических показателей. Это может означать, что у спортсменов «общей подготовки» постуральный контроль более тесно связан с вегетативной регуляцией (Кораблева Ю.Б. с соавт., 2019).

Второй фактор отражает психомоторно-вегетативный комплекс: с одной стороны, тормозные реакции (число запаздываний в тесте «РДО») можно трактовать как относительно «осторожную» стратегию реагирования, с другой, как «антиципаторную» стратегию (произвольное замедление для повышения точности реакций). Повышенный вес ЧСС (0,73) свидетельствует о симпатической активации, отражающей развёртывание механизма готовности к нагрузке как вариации т.н. «предстартового состояния». Положительная связь мышечной эластичности (0,75) с тормозными реакциями может отражать оптимальный баланс между расслаблением и готовностью.

Имеются результаты исследований, в которых высокая мышечная эластичность у спортсменов часто сочетается с контролируемой (произвольной) задержкой двигательных реакций. Название второго фактора – «Адаптивная психомоторная “осторожность”».

Третий фактор. Отрицательные нагрузки (-0,81) по обоим показателям фактора указывают на сокращение времени выполнения теста и на ускорение

координационных процессов, что в совокупности отражает относительно высокий уровень нейромоторного контроля (оптимальное состояние мелкой моторики на фоне эффективной работы мозжечковых структур). Анализ факторной структуры дает нам основание назвать фактор «Эффективность нейромоторного контроля».

До		После		Восстановление	
Переменная	Вес	Переменная	Вес	Переменная	Вес
RMSSD	0,97	RMSSD	0,91	Выносливость	0,80
SDNN	0,92	CV	0,87	Время запаздываний	-0,86
CV, %	0,87	SDNN	0,86	Число запаздываний	-0,84
pNN50	0,87	pNN50	0,78	Тонус мышцы	0,84
~Y	0,70	Время касаний	-0,73	Жесткость	0,81
Число запаздываний	0,77	Число запаздываний	0,97	ДАД	0,72
Эластичность	0,75	Время запаздываний	0,95	Расслабление	-0,84
ЧСС	0,73	ЧСС	0,81	~Y	0,84
Время теста «ДТ»	-0,81	Точные реакции	-0,82	CV	0,75
Время координации	-0,81	Число опережений	-0,73	SDNN	0,74
<i>Дисперсия 53,3 %</i>		Время теста «ДТ»	0,95	~X	-0,76
		Время координации	0,94	S	-0,75
		~Y	0,77	<i>Дисперсия 47,9 %</i>	
		Частота касаний	-0,80		
		ИМТ	-0,73		

Дисперсия 60,4 %

Примечание: обозначения – первый фактор; – второй фактор; – третий фактор

Рисунок 9 – Факторные нагрузки первых трех факторов после вращения эталонной модели в группе «единоборцы» на этапах исследования

Таким образом, стабильное вегетативное обеспечение (первый фактор), сбалансированные психомоторные реакции (второй фактор) и эффективный двигательный контроль (третий фактор) в совокупности свидетельствуют об оптимальной готовности организма спортсменов к нагрузке, в частности – к выполнению функциональной пробы.

После функциональной пробы

Содержание *первого фактора* «Восстановление вегетативного баланса и нейромышечного контроля» – высокие нагрузки по всем показателям ВСР (RMSSD, CV, SDNN, pNN50) свидетельствуют об активации парасимпатического отдела АНС как варианта восстановления адаптационного резерва организма – вагусной реактивации вследствие эффективности массажа. Обратная связь с тремором (-0,73) переменной «Длительность касаний» в тесте «Динамическая треморометрия» указывает на снижение физиологического тремора вследствие восстановления нейромышечного контроля.

Содержание *второго фактора* «Резидуальное психомоторно-вегетативное утомление» несколько «корректирует» положительный эффект, описанный выше, и уточняет следующие физиологические взаимосвязи: доминирование запаздывающих реакций в тесте «РДО» – замедление психомоторных процессов регуляции восстановления (сохранение утомления ЦНС). Высокий вес ЧСС (+0,81) может свидетельствовать о неполном восстановлении симпатического тонуса и сохранении стресс-реакции организма вследствие функциональной пробы. Отрицательные веса точных реакций (-0,82) и опережений (-0,73) указывают на преобладание процессов возбуждения в коре, что также указывает на сохранение эффектов, характерных для стресс-реактивности организма. Предполагаем, что массаж не полностью предотвращает психомоторное утомление.

Третий фактор представлен комплексом доминирования показателей тремора и координации движений, высокие веса которых указывают на сохраняющиеся трудности с тонким моторным контролем и длительное восстановление нейромышечной координации. Положение центра давления (+0,77) свидетельствует о смещении баланса в передне-заднем направлении и, вероятно, отражает компенсаторную позу после функциональной пробы – интервальной изометрической нагрузки на мышцы-сгибатели пальцев кисти. В свою очередь, обратные корреляции с частотой ошибок (-0,80) в тесте «Динамическая треморометрия» свидетельствуют о повышении качества

регуляции движений, выраженное в повышении их точности при увеличении времени выполнения двигательного теста. Низкий вес ИМТ (-0,73) согласуется с требованиями к единоборцам – к соотношению силы и массы тела. Обобщая представленное выше название фактора – «Компенсаторная стратегия моторного контроля».

Таким образом, воздействие перкуссионного массажа в течение 10-минутного периода восстановления после функциональной пробы в группе «единоборцы» способствует вегетативному восстановлению (фактор 1), при сохранении когнитивного (центрального) утомления (фактор 2) на фоне моторной компенсации (фактор 3). Данный анализ подчеркивает важность комплексного подхода к восстановлению спортсменов после интенсивных нагрузок.

После периода 10-минутного восстановления.

Содержание *первого фактора* отражает восстановление мышечной работоспособности и скорости обработки информации ЦНС (оптимизация процессов антиципации за счет, вероятно, сокращения времени сенсомоторной реакции). Резюмируя эффекты, основанные на анализе факторной структуры, можно заключить, что массаж обеспечивает относительно быстрое комплексное восстановление, выраженное в синхронизации мышечных и нервных процессов (сохранение мышечной выносливости на фоне ускорения когнитивно-моторных реакций) и назвать фактор – «Интегральное восстановление работоспособности».

Второй фактор представлен сохраненным мышечным гипертонусом, вероятно, вследствие указанных нами выше накопления метаболитов (лактат, ионы Ca^{2+}) и продолжающуюся рефлекторную активацию γ -мотонейронов. Следовательно, повышенное диастолическое АД (0,72) связано с периферическим сосудистым сопротивлением – компенсаторным механизмом поддержания перфузии. Нарушение релаксации исследуемой мышцы, выраженное в отрицательной связи с расслаблением (-0,84) свидетельствует о дефиците АТФ-зависимых процессов (Бабич Л.Г. с соавт., 1990; Khaziev E.F. et al., 2018) и снижении активности SERCA-насосов (Giuriato G. et al., 2022). Имеются данные о том, что вначале велотренировки средней интенсивности ускорение кинетики

кислорода происходит без усиления митохондриального биогенеза или изменений в распределении тяжёлых цепей миозина в мышцах и капилляризации мышечных волокон. Однако снижение оксигенации мышц, вызванное тренировкой, обусловлено снижением активности насосов SERCA (Zoladz J.A. et al., 2013). Условное название фактора – «Постнагрузочная мышечно-сосудистая ригидность».

Содержание *третьего фактора* указывает на постурально-вегетативную интеграцию (сильная связь положения центра давления по оси Y (0,84) с вариабельностью сердечного ритма (CV 0,75, SDNN 0,74), что, в свою очередь, свидетельствует о роли барорефлекторных механизмов в поддержании баланса – формирование адаптационной стратегии после функциональной пробы. Примечательна асимметрия постурального контроля, представленная противоположными по знаку нагрузками по осям (Y 0,84 и X -0,76). Это может отражать компенсаторное перераспределение массы тела, возникающее за счет избирательного (локального) утомления мышц-стабилизаторов. При этом отмечается эффективность постурального баланса (уменьшение площади колебаний (-0,75), характерного для условий постурального контроля. Таким образом третий фактор отражает «Адаптивную постурально-вегетативную синхронизацию».

Основной вывод относительно эффектов перкуссионного массажа: для группы «скалолазы» такой способ восстановления критичен для сохранения точности движений, но требует персонализации; для группы «единоборцы» – эффективен для общего восстановления, что особенно выражено со стороны вегетативного уровня регуляции и постурального контроля.

Оценка факторной структуры в группе «неспортсмены» (рис. 10).

До функциональной пробы.

Первый фактор отражает нейромоторный диссонанс (точность реакций (0,80)), обусловленный психомоторной интеграцией на фоне неоптимального проприоцептивного контроля (время координации в тесте «Динамическая

треморометрия» -0,96). Причиной тому может быть эффект, выраженный в т.н. селективном дефиците: сохранение фоновой моторики (РДО) при нарушении сложно-координированных движений или «пренебрежение» сложной координацией ради точности простых реакций. Не исключен и «методический артефакт», суть которого в разной чувствительности тестов на оценку утомления ЦНС. Смещение центра давления тела (-0,76) можно трактовать как компенсаторная асимметрия. Название фактора «Диссоциированный нейромоторный профиль».

Физиологический вывод относительно содержания *второго фактора* один – высокий тонус парасимпатического отдела АНС в покое, что обусловлено высокими факторными нагрузками r_{NN50} (0,92) и $RMSSD$ (0,84). А высокие факторные нагрузки CV (0,90) и $SDNN$ (0,86) при отсутствии тренированности и нормальном ИМТ указывают на повышенную реактивность барорефлекторных механизмов и, возможно, на латентную гиперчувствительность хеморецепторов. Название фактора «Гиперваготонический статус с лабильной адаптационной готовностью».

Анализ содержания *третьего фактора*. Выявлено доминирование запаздывающих реакций (0,94 – 0,85), что свидетельствуют о замедленной обработке сенсорной информации и дефиците антиципаторного контроля. Кроме того, увеличение ошибок в тесте «Динамическая треморометрия» (0,81 – 0,74) отражает дефицит произвольной регуляции движений, что, в свою очередь, влечет за собой потерю точности при выполнении сложных движений, недостаточность проприоцептивной чувствительности. Подобные процессы отмечаются при некоторых дисфункциях мозжечково-таламокортикальных связей (Хало П.В. с соавт., 2015). Название фактора – «Психомоторная дезинтеграция с выраженным временным лагом».

После функциональной пробы.

Структура переменных первого фактора, отражает формирование постурально-моторного дисбаланса в основе которого увеличенная площадь статокинезиограммы (0,87) свидетельствует о компенсаторной гиперкоррекции

после нагрузки, но на фоне сохранения точности двигательных реакций в тесте «РДО» (0,83). Кроме того, установлена диссоциация между скоростью (-0,86) и качеством движений (0,77), выраженная в компенсаторном ускорении движений ценой точности. Указанное выше позволяет дать следующее название фактору «Компенсированная поструральная нестабильность с сохранением точности».

До		После		Восстановление	
Переменная	Вес	Переменная	Вес	Переменная	Вес
Точные реакции	0,80	S	0,87	SDNN	0,97
Время теста «ДТ»	-0,96	Точные реакции	0,83	CV	0,90
Время координации	-0,96	Частота касаний	0,77	~X	0,83
~X	-0,73	Время координации	-0,86	RMSSD	0,82
pNN50	0,92	Время теста «ДТ»	-0,86	pNN50	0,76
CV	0,90	Число опережений	-0,70	Точные реакции	0,83
SDNN	0,86	Число запаздываний	0,89	Жесткость	0,80
RMSSD	0,84	Расслабление	0,84	Число запаздываний	-0,93
Число запаздываний	0,94	Время запаздываний	0,79	Расслабление	-0,82
Время запаздываний	0,85	Жесткость	-0,75	Время запаздываний	-0,79
Количество касаний	0,81	RMSSD	0,98	ДАД	0,86
Время касаний	0,74	SDNN	0,88	САД	0,86
Дисперсия 57,2 %		pNN50	0,80	Время усилия	0,74
		CV	0,75	Время касаний	-0,76

Дисперсия 57,4 %

Дисперсия 54,8 %

Примечание: обозначения – первый фактор; – второй фактор; – третий фактор

Рисунок 10 – Факторные нагрузки первых трех факторов после вращения эталонной модели в группе «неспортсмены» на этапах исследования

Физиологические взаимосвязи второго фактора представлены нейромоторными эффектами (высокий вес числа запаздываний (0,89)), отражающими замедленную обработку сенсорной информации в префронтальной коре, дефицит антиципаторного контроля на фоне сохраняющегося утомления ЦНС после функциональной нагрузки.

При этом повышение скорости расслабления (0,84) при снижении жесткости (-0,75) указывает на эффективность массажа в области периферического восстановления. Таким образом, наблюдается диссоциация между центральными и периферическими процессами. Название фактора – «Мышечное восстановление с сохранением сенсомоторных запаздываний».

Анализ переменных *третьего фактора*, представленного показателями ВСР, позволяет определить гиперваготонический статус (факторная нагрузка RMSSD 0,98), характерный для чрезмерной активации двойного ядра (двигательное ядро блуждающего и языкоглоточного нерва – nucleus ambiguus) (Brooks С.М., 2024) на фоне подавления симпатического влияния. Подобные реакции лежат в основе развертывания риска вагусных реакций (брадикардии, гипотензии). Например, у спортсменов в подобных условиях нечасто, но отмечается развитие нейрокардиогенных синкопе (Natarajan В. et al., 2006; Baswaraj D. et al. 2024), в популяции обследуемых - неспортсменов такой риск намного выше. Высокие факторные нагрузки SDNN (0,88) и CV (0,75) при отсутствии тренированности могут свидетельствовать о гиперреактивности барорефлекторных механизмов – т.е. о неэкономном режиме вегетативной регуляции. Учитывая сказанное выше, данный фактор можно назвать «Постнагрузочная вегетативная гиперкомпенсация».

После периода 10-минутного восстановления.

Состояние, описанное по структуре переменных ВСР третьего фактора предыдущего этапа, сохраняется и спустя 10-минут периода активного восстановления, что выражено в структуре тех же переменных *первого фактора*. Гипервариабельность сердечного ритма (SDNN 0,97) сочетается с латеральным смещением позы (компенсаторная стратегия) и вагусной активностью (RMSSD 0,82) и отражается в вегетативно-постуральном дисбалансе. При этом высокая факторная нагрузка SDNN при отсутствии тренированности у обследованных лиц указывает на дизрегуляцию барорефлекторных механизмов, что характерно для неэкономного режима работы сердечно-сосудистой системы. В этой связи

справедливо следующее название фактора – «Диссоциированная вегетативно-постуральная адаптация».

Структура переменных *второго фактора* выявляет две группы взаимосвязей, отражающих нейромоторный и мышечный компоненты. Нейромоторный – проявляется в высокой точности (0,83) и снижении числа запаздываний (-0,93), что указывает на селективное повышение скорости обработки сигналов, сохранение префронтального контроля несмотря на утомление, вызванное нагрузкой и, возможно, гиперкомпенсацию антиципаторных механизмов. Мышечный компонент проявляется в незначительной эффективности массажа (неполное снятие ригидности) и сохранении метаболического аспекта утомления (накопление лактата), что является причиной сочетания жесткости (0,80) и замедленной релаксации (-0,82) мышцы-сгибателя пальцев кисти. Как вариант, название фактора: «Селективное улучшение психомоторных функций при сохраняющейся мышечной ригидности».

Переменные *третьего фактора* составляют т.н. гемодинамико-моторный профиль, где синхронный рост ДАД и САД (0,86) свидетельствует о сохраняющемся системном сосудистом сопротивлении и компенсаторном повышении артериального давления для поддержания перфузии, что в целом указывает на неполное восстановление после изометрической физической нагрузки. Вторая составляющая указанного профиля – моторные показатели: факторный вес переменной «удержание усилия» (0,74) указывает на частичное восстановление силы, «время ошибок» (0,76) – на повышение точности двигательных реакций. Название фактора «Компенсаторное повышение артериального давления с частичным моторным восстановлением».

Данные, представленные в этой главе частично отражены в следующих работах: 1) Громыко, М. В. Некоторые антропометрические и тренировочные особенности студентов-скалолазов высокого уровня подготовки / М. В. Громыко, Д. С. Компаниец // Физиология экстремальных состояний: Сб. тезисов III

национальной конференции имени заслуженного деятеля науки Российской Федерации, доктора биологических наук, профессора А.П. Кузнецова, Курган, 08–09 февраля 2024 года. – Курган: Курганский государственный университет, 2024. – С. 157-159. 2) Громыко, М. В. Особенности сенсомоторной реакций у студентов занимающихся скалолазанием / М. В. Громыко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10, № 4. – С. 58-64. – DOI: 10.29039/2413-1725-2024-10-4-58-64. 3) Громыко, М. В. Изменение постурального баланса в вертикальной позе студенток-скалолазок 18-22 лет после макроцикла тренировок / М. В. Громыко, В. В. Эрлих // Человек. Спорт. Медицина. – 2024. – Т. 24, № 2. – С. 71-76. – DOI: 10.14529/hsm240209.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая выявленные особенности произвольной регуляции функций нейромышечного аппарата верхних конечностей у спортсменов в условиях нагрузочного тестирования и восстановления, сформированы следующие «системные портреты».

В группе «скалолазы» срочная адаптация направлена на периферию и специфические навыки (отличное восстановление исследуемой мышцы, суперкомпенсация в динамометрии), однако сопровождаемая временным снижением сложных моторных функций (позное равновесие, тремор) и медленным системным восстановлением функций автономной нервной системы (по показателям ВСР). Реактивность ЦНС при этом отличается гибкостью – динамично меняет стратегию (сдвиг в РДО) управления регуляцией движений и усилий.

Срочные реакции исследуемых функциональных систем в группе «единоборцы» сравнительно сбалансированные и эффективные. Организм работает как отлаженный механизм, равномерно и оптимально восстанавливая все функции: от вегетативной и гемодинамической до мышечного контроля и высшей нервной деятельности.

В группе контроля («неспортсмены») наибольший положительный эффект комбинированного воздействия проявился на наиболее лабильном, высшем уровне регуляции – ЦНС (по показателям РДО), а также на периферической мышце (по показателям миотонометрии). Однако, на «промежуточных» системных уровнях (вегетативное, гемодинамическое обеспечение, сложная координация) восстановление было затруднено.

Проведенное исследование убедительно продемонстрировало глубокую системную перестройку организма спортсменов как следствие адаптации к систематическим тренировочным специфическим нагрузкам. Срочная ответная реакция организма представлена в виде иерархии приоритетов (детерминант) в эффективном взаимодействии между всеми уровнями регуляции – от центральной

нервной системы до периферической мышцы. У нетренированных лиц это взаимодействие разбалансировано, а ответ на внешнее воздействие может проявляться в ярких, но разрозненных (нестабильных, несбалансированных и напряженных) изменениях в разных функциональных системах.

Далее, резюмируя, представляем результаты сравнительного анализа корреляционной плеяды показателей, отражающих особенности реактивности центральной нервной систем и нейромышечного аппарата у спортсменов после нагрузочного тестирования и в течение восстановительного периода (в анализе исключены показатели АД, ЧСС, ВСР, постурального баланса и миотонометрии).

Независимо от принадлежности к той или иной группе у обследованных лиц выявлены общие признаки реактивности организма в динамике этапов исследования: сохранение базовых нейродинамических паттернов и точность сенсомоторного реагирования. Во всех группах после нагрузки и отдыха сохраняются фундаментальные связи: лабильность возбуждения (число опережений // время опережений) и инертность торможения (число запаздываний // время запаздываний). Это указывает на устойчивость основных свойств нервной системы обследованных лиц. Также, как после функциональной пробы, так и после восстановления точность (по показателям теста «РДО») у обследованных лиц всех групп отрицательно связана с количеством ошибок (опережений и запаздываний).

Корреляционный анализ показателей исследуемых функциональных систем выявил и различия в группах сравнения как на этапе после нагрузки, так и на этапе после 10-минутного периода активного восстановления. Так, у скалолазов анализ корреляционной плеяды показателей на фоне утомления, указывает на центральную компенсацию произвольной регуляции движений, что отражено в напряжении системы за счет установления новых связей между ЦНС и периферией (процессы возбуждение ↔ мышечная выносливость).

После этапа активного восстановления фиксируем быструю демобилизацию, когда нейродинамический и психомоторный компоненты системы практически возвращаются к исходному состоянию, взаимосвязи

ослабевают. Выявленные особенности, в целом, характеризуют высокую эффективность восстановления, организм быстро и полностью нивелирует последствия нагрузки.

Характеризуя взаимосвязь указанных компонентов нервной системы (ее центральной регуляции) в группе «единоборцы» после физической нагрузки, отмечаем выраженное доминирование процессов торможения – напряжение системы, что проявляется в силе, а не в количестве связей, все из которых указывают на тормозные нейродинамические процессы. После восстановления рост количества связей между мышечным тонусом, расслаблением, выносливостью и торможением в ЦНС указывает на системное напряжение. Последнее является основанием трактовать состояние как неполное восстановление. Поисковая стратегия организма, стремление к сбалансированию проявляется в росте корреляций.

В группе неспортсменов утомление, вызванное функциональной нагрузкой, выражено резким сокращением количества связей. Вероятно, система не справляется с нагрузкой и теряет сложную организацию. Восстановление характеризуется хаотичностью: восстанавливается количество связей, но их качество низкое – наблюдаются парадоксальные, неэффективные взаимосвязи. Оценка динамики взаимосвязей показателей ЦНС и психомоторной функции отражает низкую адаптивность и неэффективность восстановления. Система возвращается к исходному «напряженному» состоянию, но не становится более эффективной.

В заключение данного раздела диссертации представляем результаты сравнительного анализа факторной структуры функциональных показателей в группах обследуемых лиц в динамике периодов функциональной пробы и восстановления как резюме к решению четвертой задачи исследования.

Эффективность перкуссионного массажа имеет явные различия: в группе «скалолазы» массаж способствует оптимальному вегетативному восстановлению, но не обеспечивает мышечное расслабление (сохраняется мышечная ригидность); тогда как в группе «единоборцы» в целом наблюдается комплексное

восстановление – массаж обеспечивает сравнительно «лучший» нейромоторный эффект, но при этом сохраняется гемодинамическое напряжение.

В этой связи можно сформулировать специфические особенности проявления эффектов у лиц сравниваемых групп: у «скалолазов» хроническая или специфическая адаптивная ригидность мышц и замедленное восстановление антиципации требуют, вероятно, увеличение длительности массажа и тренинг антиципаторного контроля. В группе «единоборцы» эффекты, выраженные в быстром нейромоторном восстановлении, сохранении умеренного гипертонуса и гемодинамических компенсаторных реакций, требуют в перспективе контроль кардио- и гемодинамических параметров и, возможно, других методов восстановления (например, миофасциального релиза).

Анализ результатов оценки восстановления функций у обследуемых в группе «неспортсмены» выявил ряд особенностей. Перкуссионный массаж в периоды отдыха способствует эффективному периферическому восстановлению (снижается жесткость мышцы), сохранению точности простых двигательных реакций, меньшему симпатикотоническому ответу на нагрузку функциональной пробы. Однако отмечены и недостатки массажа для этой группы: чрезмерная ваготоническая реакция, неполное восстановление центральных механизмов регуляции (движений и усилий), в целом, диссоциированное (несинхронное) восстановление исследуемых функциональных систем.

Учитывая сказанное выше, в качестве рекомендаций по оптимизации восстановления функционального состояния при использовании изометрической интервальной физической нагрузки спортсменами, целесообразно использовать дыхательные упражнения для коррекции вегетативного обеспечения при условии контроля кардио- и гемодинамических показателей в восстановительном периоде.

Проведенный комплексный анализ позволил не столько сравнить группы, сколько выявить их уникальные системные портреты адаптации к комбинированному воздействию (динамометрическая изометрическая интервальная нагрузка с применением перкуссионного массажа между ее сериями).

ВЫВОДЫ

1. Разработанная функциональная проба в виде трёх серий изометрической нагрузки на кисть является адекватным инструментом для оценки реактивности и резистентности систем произвольной регуляции усилий и движений, что подтверждается её высокой чувствительностью, позволяющей выявить статистически значимые и физиологически обоснованные различия в динамике показателей между группами спортсменов и неспортсменов.

2. Установлены особенности – различия в проявлении реактивности автономной нервной системы и нейромышечного аппарата на функциональную нагрузку у спортсменов и не занимающихся спортом лиц.

У спортсменов установлены вагусная реактивация на фоне умеренного повышения артериального давления, снижение гипертонуса мышцы-сгибателя пальцев руки, сохранность точности движений и адаптивный постуральный контроль.

3. У неспортсменов наблюдалась чрезмерная ваготония на фоне риска вагусной гемодинамической реакции, эффективное снижение жесткости мышцы-сгибателя пальцев рук, сохранение точности движений, селективное улучшение психомоторных функций.

4. Эффекты краткосрочного восстановления функций (10 минут после функционального тестирования) исследуемых систем проявилось у спортсменов полной вегетативной интеграцией с нормализацией артериального давления (суперкомпенсацией), сохранением умеренного гипертонуса мышцы, психомоторным ускорением обработки сигналов, повышением постурального контроля. У неспортсменов сохраняется вегетативная дисрегуляция на фоне компенсаторной гипертензивной реакции, частичная мышечная ригидность, неравномерное восстановление постурального контроля, сохранение дефицита точности движений.

5. Надежными предикторами эффективности восстановительного массажа служат не отдельные вегетативные или психомоторные показатели, а характер их

взаимосвязей. Признаками эффективного восстановления являются: формирование положительных корреляционных связей между показателями точности движений и регуляции усилий, снижение количества корреляций – снижение напряженности функциональной системы, а также снижение количества опережающих и запаздывающих реакций.

6. Нейромоторный профиль скалолазов, сформированный в условиях специфической деятельности, характеризуется наиболее экономичным и точным дозированием усилий, высокой устойчивостью функции антиципации к нагрузке на фоне оперативного вегетативного восстановления после применения массажа, что позволяет рассматривать их «эталонной» группой для исследования механизмов произвольной регуляции функций.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Результаты исследования позволяют сформулировать ряд практических рекомендаций для тренеров и спортивных инструкторов, а также для спортивных физиологов. Так, если рекомендации для тренерского состава сводятся преимущественно к индивидуализации тренировочного процесса, оптимизации процессов восстановления и к разработке специфических тренировочных методик, то для спортивных физиологов рекомендации направлены на углубление диагностического инструментария, уточнение оценки функционального состояния и прогнозирование, а также разработку методов коррекции.

Индивидуализация тренировочного процесса:

Результаты подтверждают, что тренировки у скалолазов эффективно развивают специфическую выносливость и компенсаторные механизмы со стороны нейромоторного компонента системы произвольной регуляции движений и усилий. Тренер может делать акцент на развитии процессов возбуждения (импульсивности) к мобилизации спортсменов в условиях утомления.

У единоборцев выносливость к изометрической физической нагрузке развита относительно слабее, а реактивность характеризуется глубоким, длительным утомлением ЦНС. Тренеру следует учитывать, что 10 минут отдыха для полноценного восстановления после подобной «работы» спортсменам недостаточно, что указывает на необходимость адекватного дозирования субмаксимальных нагрузок такого характера. Целесообразно уделять особое внимание техникам восстановления и расслабления после них (дыхательные техники, стретчинг, сауна, общий массаж).

Оптимизация процессов восстановления.

Результаты исследования предоставляют объективные критерии для оценки процессов утомления и качества восстановления. Если у единоборцев после силовой тренировки сохраняется высокое количество корреляционных связей (что в поведении может проявляться в снижении активности, раздражительности, заторможенности реакций, скованности в мышцах), то это признаки

неэффективного восстановления, что указывает на необходимость коррекции нагрузки или активного включения восстановительных процедур. Для скалолазов сокращение количества связей после активного отдыха рассматривается как маркер оптимальной подготовки (и подготовленности), а также хорошей восстановительной способности организма.

Разработка специфических тренировочных методик.

Для единоборцев, исходя из результатов исследования, можно рекомендовать включение в тренировочный цикл упражнений, направленных на повышение подвижности и сбалансированности нервных процессов (например, упражнения на реакцию и расслабление в условиях утомления).

Для скалолазов – продолжать тренировки, направленные на укрепление связи между нервным импульсом и мышечным ответом в условиях длительного удержания усилия.

Для спортивных физиологов для оценивания произвольной регуляции функций (движений и усилий) рекомендуется применение *диагностического комплекса* методов (показатели сенсомоторного реагирования (тесты «РДО», «Динамическая треморометрия») и функционального состояния нейромоторного аппарата (тест «Мышечная выносливость», миотонометрия)) с дальнейшим корреляционным анализом между их показателями с позиций оценки целостности и эффективности работы нервно-мышечной системы обследуемых лиц. Выявленные паттерны взаимосвязей могут служить нормативными моделями для оценки функционального состояния спортсменов разных специализаций.

Оценка функционального состояния и прогнозирование.

Выявленный феномен «отсроченного системного напряжения» у единоборцев – важный диагностический критерий, который можно (нужно) использовать как признак для выявления скрытого, недостаточного восстановления после нагрузок, которое не проявляется в стандартных тестах. Кроме того, разный характер связей между мышечным тонусом и точностью сенсомоторных реакций у спортсменов и неспортсменов свидетельствует о том, что оценка мышечного тонуса должна быть контекстной – высокий мышечный

тонус у нетренированного человека – это одна интерпретация, а у спортсмена – другая.

Разработка методов коррекции.

Установленная у единоборцев особенность, проявляющаяся после нагрузки – инертное торможение ЦНС и повышенный мышечный тонус, позволяет целенаправленно подбирать альтернативные средства коррекции преимущественно из арсенала физиотерапевтических процедур (расслабляющий массаж, тепловые процедуры). Для неспортсменов, напротив, в программу оздоровительной физкультуры целесообразно включать упражнения на повышение тонуса и жесткости мышц как фактора, повышающего общую стабильность и координацию.

Таким образом, практическая значимость результатов исследования и рекомендаций заключается в предоставлении конкретных, измеримых и интерпретируемых функциональных маркеров, учет которых обеспечивает адекватное управление тренировочным процессом и состоянием здоровья спортсмена, что в конечном итоге направлено на повышение эффективности физической подготовки и предотвращение перетренированности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абуталимов, А. Ш. Биоуправляемая механотерапия в восстановлении функционального состояния опорно-двигательного аппарата нижних конечностей легкоатлетов, специализирующихся в беговых дисциплинах: дис. ... канд. мед. наук / А. Ш. Абуталимов. – 2023. – 154 с.
2. Александров, А. Ю. Влияние параметров и характера биологической обратной связи на амплитуду физиологического тремора / А.Ю. Александров, К.О. Уплисова, В.Ю. Иванова // Физиология человека. – 2020. – Т. 46, № 2. – С. 22–29. – DOI: 10.31857/S0131164620010038.
3. Алексанянц, Г. Д. Принципы оценки функционального состояния организма спортсменов в системе медицинского обеспечения детского и юношеского спорта: автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Г. Д. Алексанянц. – Краснодар, 2000. – 54 с.
4. Алиев, Д. Ф. Применение гипероксической газовой смеси у пловцов в период срочного восстановления / Д. Ф. Алиев // Вопросы функциональной подготовки в спорте высших достижений: Матер. IX Всеросс. науч.-практич. конф. (21-23 ноября 2022 г.). – Омск: «СибГУФКиС», 2023. – С. 11–14.
5. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем: методические рекомендации / Р. М. Баевский, П. Г. Иванов, Л. В. Чирейкин [и др.] // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65–87.
6. Анохин, П. К. Очерки по физиологии функциональных систем / П. К. Анохин. – М.: Медицина, 1975. – 448 с.
7. Антипов, Е. В. Зависимость показателей кистевой динамометрии от массы тела у студентов / Е. В. Антипов, О. Н. Киселева, Л. Ю. Юферева // Вестник Набережночелнинского государственного педагогического университета. – 2024. – № 1(49). – С. 51-53.

8. Антипов, Е. В. Нормированные показатели кистевой динамометрии студентов / Е. В. Антипов, О. Н. Киселева // Проблемы развития современного общества: сб. науч. статей 9-й Всеросс. национальной науч.-практич. конф.: в 3 т. – Курск: Университетская книга, 2024. – С. 516–518.
9. Бабич, Л. Г. Влияние мембранного потенциала на Mg^{2+} –АТФ-зависимый транспорт Ca^{2+} через сарколемму гладкой мышцы / Л. Г. Бабич, В. П. Фомин, С. А. Костерин // Биохимия. – 1990. – Т. 55, № 10. – С. 1890.
10. Баврина, А. П. Современные правила применения корреляционного анализа / А. П. Баврина, И. Б. Борисов // Медицинский альманах. – 2021. – № 3(68). – С. 70–79.
11. Баев, К. В. Нейронные механизмы программирования спинным мозгом ритмических движений / К. В. Баев. – Киев : Наукова думка, 1984. – 155 с.
12. Байгужин, П. А. Реактивность автономной нервной системы у лиц с различной мотивацией к выполнению функциональной нагрузки / П. А. Байгужин, К. А. Наумова // Психология. Психофизиология. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 96–107. – DOI: 10.14529/jpps210210.
13. Байгужина, О. В. Нейродинамические предикторы точности двигательной реакции / О. В. Байгужина, М. В. Шапошникова, О. А. Комиссарова, О. Б. Никольская // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 20, № S2. – С. 26–30. – DOI: 10.14529/hsm20s204.
14. Баранов, С. Н. Контактная треморометрия и контактная координациометрия по профилю как методы диагностики точности движения рук, нарушений нервной системы и психического состояния человека / С.Н. Баранов // Интерактивная наука. – 2017. – № 5(15). – С. 65–67.
15. Батыршина, Г. Р. Кинезиотерапевтическая технология «Экзарта» в постурологическом контроле движения тела / Г. Р. Батыршина // Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная рекреация. – 2016. – Т. 1, № 3. – С. 26–29.
16. Батыршина, Г. Р. Оценка роли электропроводимости тела на состояние организма кикбоксеров высшей и высокой спортивной квалификации на основе

биоимпедансного анализа / Г. Р. Батыршина, Ю. Н. Романов, Л. А. Романова // Человек. Спорт. Медицина. – 2013. – Т. 13, № 1. – С. 171–173.

17. Бахарева, А. С. Персонализированный анализ метаболических биомаркеров у квалифицированных лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода / А. С. Бахарева, В. В. Эрлих // Агаджанянские чтения = Aghajanian readings : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (25–27 мая 2023 г.). – Москва: РУДН, 2023. – С. 40–43.

18. Бахарева, А.С. Гемодинамический ответ на ортостатическое воздействие на этапах подготовительного периода у лыжников-гонщиков с разным уровнем работоспособности / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, В.В. Эрлих // Человек. Спорт. Медицина. – 2025. – Т. 25, № 1. – Р. 59–67.

19. Белянская, И. М. Средства восстановления работоспособности спортсмена после физических нагрузок / И. М. Белянская, И. С. Сурова // OlymPlus. Гуманитарная версия. – 2022. – № 2 (15). – С. 97.

20. Бернштейн, Н. А. О построении движения / Н. А. Бернштейн. – М.: Медгиз, 1947. – 254 с.

21. Бернштейн, Н. А. Физиология движений и активность / Н. А. Бернштейн, И. М. Фейгенберг. – Москва : Наука, 1990. – С. 373–392.

22. Биоимпедансный анализ состава тела человека / Д. В. Николаев, А. В. Смирнов, И. Г. Бобринская, С. Г. Руднев. Москва: Наука, 2009. – 390 с.

23. Биохимия мышечной деятельности / Н. И. Волков, Э. Н. Несен, А. А. Осипенко, С.Н. Корсун. – Киев: Олимпийская литература, 2000. – 504 с.

24. Биоэнергетические критерии готовности спортсменов к соревновательной деятельности / О. В. Балберова, Е. В. Быков, Е. Г. Сидоркина, К. С. Кошкина // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6, № 2(19). – DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_1

25. Бойков, В. Л. Физиологическая характеристика гематологических, биохимических параметров крови и симпато-вагусного баланса у спортсменов

высокой квалификации / В. Л. Бойков, А. А. Мельников // Человек. Спорт. Медицина. – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 7-13. – DOI: 10.14529/hsm210101.

26. Бокерия, Л. А. Вариабельность сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование / Л. А. Бокерия, О. Л. Бокерия, И. В. Волковская // Анналы аритмологии. – 2009. – № 4. – С. 21–32.

27. Большая медицинская энциклопедия: в 30 т. Т. 28 / гл. ред. Б. В. Петровский. – М. : Советская энциклопедия, 1986. – 544 с.

28. Викулов, А.Д. Вариабельность сердечного ритма у лиц с повышенным режимом двигательной активности и спортсменов / А.Д. Викулов, А.Д. Немиров, Е.Л. Ларионова // Физиология человека. – 2005. – Т. 31, № 6. – С. 54–59.

29. Виру, А. А. Гормональные механизмы адаптации и тренировки / А. А. Виру. – 1981.

30. Влияние вибрации на силу сгибателей кисти велосипедистов / А. В. Воронов, А. А. Воронова, П. В. Квашук [и др.] // Вестник спортивной науки. – 2021. – № 5. – С. 44–49.

31. Влияние постурального баланса на изменение ритма и проводимости сердца у пловцов / Ю. Б. Кораблева, В. В. Епишев, В. А. Бычковских [и др.] // Человек. Спорт. Медицина. – 2019. – Т. 19, № S2. – С. 37–44. – DOI: 10.14529/hsm19s205.

32. Возможна ли статика (устойчивость) в биомеханике? / В. В. Еськов, М. А. Филатов, Т. В. Гавриленко, Т. В. Воронюк // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2024. – № 2. – С. 5-16. – DOI: 10.12737/2306-174X-2024-2-5-14

33. Возрастные и половые особенности психофизиологических показателей спортсменов разных видов спорта / С. В. Нопин, С. М. Абуталимова, А. Н. Копанев, А. Н. Потанин // Современные вопросы биомедицины. – 2020. – Т. 4, № 1(10). – С. 12-27.

34. Восстановление гидратации рабочих регионов тела во время активного восстановления после стандартной физической нагрузки / А. А. Мельников, А. Е. Горчилин, С. П. Щелыкалина [и др.] // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2021. – № 2(36). – С. 114-122.

35. Гаврилова, Е.А. Использование вариабельности ритма сердца в оценке успешности спортивной деятельности / Е.А. Гаврилова // Практическая медицина. – 2015. – № 3-1(88). – С. 52–58.
36. Герасименко, Ю. П. Механизмы регуляции движения: фундаментальные аспекты и клинические приложения / Ю. П. Герасименко // Сб. тезисов XXIV съезда физиол. общества им. И.П. Павлова (11-15 сентября 2023 г.). – Санкт-Петербург: ООО «Издательство ВВМ», 2023. – С. 9–10.
37. Герасименко, Ю. П. Спинальные механизмы регуляции двигательной активности в отсутствие супраспинальных влияний: автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.13 / Ю. П. Герасименко. – СПб., 2000. – 34 с.
38. Голобородько, Е. В. Разработка и обоснование системы экспертной оценки медицинских технологий для высококвалифицированных спортсменов: дис. ... д-ра мед. наук / Е.В. Голобородько. – Москва, 2022. – 215 с.
39. Головин, М. С. Физиологические и биохимические показатели, характеризующие физическую работоспособность при нагрузочном тестировании на тредбане и велоэргометре / М. С. Головин, Р. И. Айзман // Человек. Спорт. Медицина. – 2022. – Т. 22, № 1. – С. 14–21.
40. Городничев, Р. М. Физиология силы / Р. М. Городничев, В. Н. Шляхтов; Великолукская государственная академия физической культуры и спорта. – М.: Спорт, 2016. – 232 с.
41. Грачева, Е. И. Определение асимметрии мышц голени у квалифицированных спринтеров методом биоимпедансного анализа / Е. И. Грачева, Е. Н. Крикун // Вестник физической культуры и спорта. – 2023. – № (31). – С. 210–212.
42. Громыко, М. В. Некоторые антропометрические и тренировочные особенности студентов-скалолазов высокого уровня подготовки / М. В. Громыко, Д. С. Компаниец // Физиология экстремальных состояний: Сб. тезисов III национальной конф. имени заслуженного деятеля науки РФ, доктора биологических наук, профессора А.П. Кузнецова (08–09 февраля 2024 г.). – Курган: Курганский государственный университет, 2024. – С. 157-159.

43. Громыко, М. В. Особенности сенсомоторной реакций у студентов занимающихся скалолазанием / М. В. Громыко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10, № 4. – С. 58-64. – DOI: 10.29039/2413-1725-2024-10-4-58-64

44. Громыко, М. В. Разработка интервальной динамометрической функциональной пробы / М. В. Громыко, П. А. Байгужин // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2025. – Т. 4, № 2(14). – С. 6–10. – DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_02_1.

45. Громыко, М. В. Физиологические показатели эффективности перкуссионного массажа в спорте / М. В. Громыко, А. П. Павлова, П. А. Байгужин // Актуальные медико-биологические проблемы спорта и физической культуры: сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. (25-26 февр. 2025 г.). Ч. 2 / Под общ. ред. В. В. Горбачевой и др. – Волгоград: ВГАФК, 2025. – С. 24–29.

46. Громыко, М. В. Изменение постурального баланса в вертикальной позе студенток-скалолазок 18-22 лет после макроцикла тренировок / М. В. Громыко, В. В. Эрлих // Человек. Спорт. Медицина. – 2024. – Т. 24, № 2. – С. 71-76. – DOI: 10.14529/hsm240209

47. Дементьев, К. Н. Понятия «утомление» и «переутомление». Средства восстановления / К. Н. Дементьев, А. М. Стронько, К. А. Жигалин // Вестник науки. – 2023. – Т. 4, № 12 (69). – С. 1301–1307.

48. Денисенко, Ю. П. Современные представления о структурно-функциональной организации нервно-мышечной системы и механизмов сокращения и расслабления скелетных мышц / Ю. П. Денисенко, Ю. В. Высочин, Л. Г. Яценко // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2011. – № 4 (21). – С. 39–49.

49. Диагностика нейромышечной системы спортсмена с использованием подвесных систем / З. Г. Орджоникидзе, В. В. Арьков, В. А. Бадтиева, А. Л. Бурмистров. – Москва: ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ, 2015. – 17 с.

50. Дятлов, Д. А. Оптимизация регуляции движений спортсмена с помощью портативной беспроводной системы / Д. А. Дятлов, Е. Л. Бачериков //

Оптимизация учебно-воспитательного процесса в образовательных организациях физической культуры: Матер. XXXIV национальной науч.-метод. конф. с международным уч. (24 мая 2024 г.). – Челябинск: УралГУФК, 2024. – С. 248–251.

51. Ершов, Ю. А. Общая биохимия и спорт / Ю. А. Ершов. – Москва: Издательство Московского государственного университета, 2010. – 368 с.

52. Жуков, В. И. Методика локального развития силы мышц / В. И. Жуков, Н. С. Коломийцева, Н. Х. Кагазежева // Физическая культура и спорт, безопасность жизнедеятельности: материалы заседаний круглых столов. – 2019. – С. 24–28.

53. Зарубин, Ф. Е. Вариабельность сердечного ритма: стандарты измерения, показатели, особенности метода / Ф. Е. Зарубин // Вестник аритмологии. – 1998. – № 10. – С. 25–30.

54. Захаров, А. А. Взаимосвязь силы и мышечной выносливости рук у юношей, занимающихся мас-рестлингом, и у не занимающихся спортом / А. А. Захаров, Я. Ю. Захарова, А. В. Бурнашев // Теория и практика физической культуры. – 2020. – № 9. – С. 59–61.

55. Зиамбетов, В. Ю. Историческое фехтование как способ развития силы кисти рук / В. Ю. Зиамбетов // Экстремальная деятельность человека. – 2021. – № 2(60). – С. 8-11.

56. Информативность психоэмоциональной нагрузочной пробы «математический счет» и ручной дозированной изометрической нагрузки в диагностике стресс-зависимости у больных эссенциальной артериальной гипертензией / А. В. Шабалин, Е. Н. Гуляева, О. В. Крваленко [и др.] // Артериальная гипертензия. – 2003. – Т. 9, № 3. – С. 98–101. – DOI: 10.3390/jcm11061539.

57. Иорданская, Ф. А. Мобильные технологии в оперативной диагностике оценки адаптации к нагрузкам и срочного восстановления работоспособности в условиях тренировочных мероприятий / Ф. А. Иорданская // Вестник спортивной науки. – 2022. – № 2. – С. 54–63.

58. Калмыков, М. Л. Использование средств срочного восстановления для улучшения физической работоспособности и функционального состояния футболистов / М. Л. Калмыков, И. А. Руцкой, П. П. Кондратенко // Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник української медичної стоматологічної академії. – 2016. – Т. 16, № 4-1(56). – С. 252–255.

59. Классина, С. Я. Состояние центральной и вегетативной нервной систем человека в восстановительный период после отказа от интенсивной физической нагрузки / С. Я. Классина, Н. А. Фудин // Вестник новых медицинских технологий. – 2015. – Т. 22, № 3. – С. 122–126.

60. Корнеева, И. Т. Биоимпедансный анализ состава тела как метод оценки функционального состояния юных спортсменов / И. Т. Корнеева, С. Д. Поляков, Д. В. Николаев // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2012. – № 10. – С. 30–36.

61. Королева, С. В. Баланс равновесия с использованием технологии инерциальных сенсоров – методология и нормы / С. В. Королева, Д. В. Михайлов, П. В. Королев // Современные проблемы науки и образования. – 2024. – № 3. – С. 23. – DOI: 10.17513/spno.33439.

62. Корчевой, Л. Н. Совершенствование стрелковой подготовки квалифицированных биатлонистов 17-18 лет на основе показателей аппаратно-программного комплекса срочной информации / Л. Н. Корчевой, Р. А. Бойчевский, И. В. Гущина // Физическая культура и спорт в современном обществе : материалы XXVIII Всерос. науч. конф., Хабаровск, 09–12 апр. 2024 года. – Хабаровск : ДВГАФК, 2024. – С. 126–132.

63. Корягина, Ю. В. Курс лекций по физиологии физкультурно-спортивной деятельности / Ю. В. Корягина, Ю. П. Салова, Т. П. Замчий. – 2014. – 154 с.

64. Корягина, Ю. В. Функциональные резервы адаптации двигательной системы спортсменов с позиций физиолого-биомеханического подхода / Ю. В. Корягина, С. В. Нопин // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, №. 2. – С. 191–200.

65. Котельников, С. А. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах / С. А. Котельников // Физиология человека. – 2002. – Т. 28, № 4. – С. 130–143.
66. Коц, Я. М. Организация произвольного движения. Нейрофизиологические механизмы / Я. М. Коц. – М. : Наука, 1975. – 248 с.
67. Кубряк, О. В. Стабилометрия, вертикальная поза человека в современных исследованиях / О. В. Кубряк. – М.: Обзор, 2022. – 78 с.
68. Кудря, О. Н. Физиологические механизмы повышения физической работоспособности спортсменов при использовании транскраниальной электростимуляции / О. Н. Кудря, Е. А. Руль // Человек. Спорт. Медицина. – 2022. – Т. 22, № S2. – С. 54-60. – DOI 10.14529/hsm22s207.
69. Левин, М. Л. Локальная и общая газовая криотерапия в спорте высших достижений / М. Л. Левин, Л. А. Малькевич // Высокотехнологическая медицина. – 2023. – Т. 10, № 1. – С. 47–52. – DOI: 10.52090/2542-1646_2023_10_1_47.
70. Левченко, Ю. С. Гендерные особенности индекса массы тела и показателей кистевой динамометрии студентов юношеского возраста / Ю. С. Левченко, В. В. Никель // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 1(139). – DOI: 10.23670/IRJ.2024.139.159.
71. Литвиненко, Ю. Статодинамическая устойчивость тела спортсмена как основа эффективных двигательных действий в неожиданных ситуациях (на материале рукопашного боя) / Ю. Литвиненко, А. Никитенко // Наука в олимпийском спорте. – 2018. – № 2. – С. 81–91.
72. Литовченко, О. Г. Функциональное состояние опорно-двигательного аппарата студентов (обзор литературы) / О. Г. Литовченко, А. И. Закирова // Российские биомедицинские исследования. – 2022. – Т. 7, № 3. – С. 43-50. – DOI: 10.56871/7746.2022.97.46.007
73. Макарова, Г. А. Оптимизация постнагрузочного восстановления спортсменов (методология и частные технологии) / Г. А. Макарова. – М. : Спорт, 2017. – 160 с.

74. Мальцев, В. П. Особенности межсистемных взаимодействий показателей физиологических систем организма студентов с разным типом вегетативной регуляции / В. П. Мальцев, А. А. Говорухина, О. А. Мальков // *Acta Biomedica Scientifica*. – 2023. – Т. 8, № 4. – С. 207-219. – DOI: 10.29413/ABS.2023-8.4.23

75. Мамылина, Н. В. Физиология и биохимия физической работоспособности / Н. В. Мамылина. – Челябинск : Библиотека А. Миллера, 2023. – 119 с.

76. Мандриков, В. Б. Методы оценки физического и функционального состояния студентов специального учебного отделения / В. Б. Мандриков, М. П. Мицулина. – 2012.

77. Мантрова, И. Н. Методическое руководство по психофизиологической и психологической диагностике / И. Н. Мантрова. – Иваново : Нейрософт, 2007. – С. 20–41.

78. Марцинкевич, Е. Д. Характеристика силы, уравновешенности и подвижности нервных процессов у спортсменов разных специализаций / Е. Д. Марцинкевич, Е. А. Борисова // Научно-практическая конференция профессорско-преподавательского и научного составов Военного института физической культуры : Сб. ст. матер. конф. (01 марта 2023 г.) / Ред. В.Л. Пашута. Ч. 2. – Санкт-Петербург: Военный ин-т физ. культуры, 2023. – С. 59-65.

79. Маслова, И. Н. О способности к оценке и регуляции динамических и пространственно - временных параметров движений в прыжках в воду / И. Н. Маслова // Человеческий капитал как фактор инновационного развития общества : сб. статей Международной научно-практической конференции (11 апреля 2019 г.). Ч. 2. – Магнитогорск: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2019. – С. 127–129.

80. Мельников, А. А. Влияние зрительной обратной связи на регуляцию вертикальной позы у спортсменов / А. А. Мельников, В. С. Березин, Л. И. Мельникова // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2023. – № 2(44). – С. 93-98.

81. Мельников, А. А. Функциональное значение стабилографических показателей в стандартных тестах / А. А. Мельников, П. А. Смирнова // День спортивной информатики: матер. V Всеросс. с международным участием научно-практич. конф. (03–04 декабря 2021 г.). – Москва: ФГБУ «Федеральный центр подготовки спортивного резерва», 2022. – С. 94-97.

82. Милодан, В. А. Средства и методы оценки уровней физического и функционального состояния студентов специальных медицинских групп: тезисы докладов Всеросс. науч.-метод. конф. / В. А. Милодан, А. И. Шабанов, С. А. Малышева – Санкт–Петербург, 2002. – С. 43–44.

83. Михайлов, С. Н. Основы врачебного контроля / С. Н. Михайлов, В. А. Чернов, Г. В. Лебедева, М. А. Ермакова. – Оренбург, 2013. – 76 с.

84. Михайлов, С. С. Спортивная биохимия / С. С. Михайлов. – Москва: Советский спорт, 2006. – 260 с.

85. Михалев, В. И. Использование кислородной поддержки для повышения предельных возможностей организма спортсменов / В. И. Михалев, Е. А. Реуцкая, Ю. В. Корягина // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2012. – № 10. – С. 16–23.

86. Модельные характеристики компонентного состава тела легкоатлетов, специализирующихся в сверх- и ультра длинных дистанциях / А. В. Овсянникова, Н. В. Макарова, О. В. Балберова, Е. Г. Сидоркина // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2021. – № 9(199). – С. 183-187. – DOI 10.34835/issn.2308-1961.2021.9.p183-188.

87. Моисеев, С. А. Пространственно-временная структура мышечных синергий точностных движений человека / С. А. Моисеев, С. М. Иванов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 148–159.

88. Молчановский, В. В. Вертеброневрология II. Клиническая анатомия и физиология двигательной системы: в 5 ч. / В. В. Молчановский, Ю. В. Тринитатский. – Ростов н/Д : СКНЦ ВШ ЮФУ, 2013. – 258 с.

89. Моногаров, В. Д. Утомление в спорте / В. Д. Моногаров. – Киев: Здоров'я, 1986. – 119 с.

90. Ненахов, И. Г. Повышение уровня проявления способности к равновесию у спортсменов посредством коррекции мышечно-тонических асимметрий: диссертация кандидата педагогических наук: 13.00.04 / И.Г. Ненахов. – Санкт–Петербург: НГУ им. П.Ф. Лесгафта, 2018. – 145 с.

91. Новиков, Е. М. Методы исследования сердечного ритма по данным ЭКГ: вариабельность сердечного ритма и дисперсионное картирование (обзорная статья) / Е. М. Новиков, С. В. Стеблецов, В. Н. Ардашев [и др.] // Кремлевская медицина. Клинический вестник. – 2019. – № 4. – С. 81–89. – DOI: 10.26269/4t6g-mx35.

92. Новикова, Т. Г. Физические упражнения как важное средство восстановления работоспособности / Т. Г. Новикова, Т. В. Нагорная, И. П. Ткаченко. – 2015. – С. 58–59.

93. Новожилова, А. А. Особенности исследования профессионального утомления в физиологии труда / А. А. Новожилова, А. М. Гергей, А. Г. Меркулова // Медицина труда и промышленной экологии. – 2022. – Т. 62, № 4. – С. 238–246. – DOI: 10.31089/1026-9428-2022-62-4-238-246.

94. Нопин, С. В. Автоматизированная физиологическая проба «Спортивный нагрузочный тест повторных прыжков Bosco» для диагностики состояния и оценки эффективности восстановления / С. В. Нопин, Ю. В. Корягина, Г. Н. Тер-Акопов // Человек. Спорт. Медицина. – 2024. – Т. 24, № 1. – С. 112–120. – DOI: 10.14529/hsm240113.

95. Нопин, С. В. Модель концепции функционирования двигательной системы человека при спортивной деятельности / С.В. Нопин // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8, № 1. – С. 127–141. – DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_13

96. Определение силы нервных процессов единоборцев для оптимизации учебно-тренировочного процесса / Л. Д. Алехин, А. В. Павленко, И. М. Щеглов,

С. Г. Ушканова // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2024. – № 3(229). – С. 28-31.

97. Отмахов, Д. В. Биомеханические методы совершенствования координации движений в спорте / Д. В. Отмахов // Вестник науки. – 2024. – Т. 3, № 2(71). – С. 664–669.

98. Параметры функциональной подготовленности, сопряженные с высокой физической работоспособностью у спортсменов циклических видов спорта / О. В. Балберова, Е. В. Быков, А. В. Чипышев, Е. Г. Сидоркина // Современные вопросы биомедицины. – 2020. – Т. 4, № 3(12). – С. 5-14.

99. Персон, Р. С. Спинальные механизмы управления мышечным сокращением / Р. С. Персон. – М. : Наука, 1985. – Т. 184. – С. 2.

100. Пигарева, С. Н. Электромиографические характеристики момента отказа от работы непрерывной интенсивности у спортсменов–любителей и лиц, занимающихся физической культурой / С. Н. Пигарева, С. Я. Классина, Н. А. Фудин // Вестник спортивной науки. – 2020. – № 2. – С. 48–51.

101. Пинчук, Е. А. Показатели кистевой динамометрии как один из факторов, влияющих на соревновательную деятельность в гиревом спорте / Е. А. Пинчук, С. В. Матук // Научно-методические аспекты подготовки спортсменов: Матер. II Всеросс. науч.-практич. конференции (13-14 апреля 2022 г.) / Под общ. ред. К.В. Диких. – Омск: «Сибирский государственный университет физической культуры и спорта», 2022. – С. 144–149.

102. Пискунов, И. В. Особенности координационной структуры бегового шага у спринтеров различного уровня спортивного мастерства в состоянии утомления / И. В. Пискунов, Р. М. Городничев, С. А. Моисеев // Физиология человека. – 2021. – Т. 47, № 3. – С. 80–87. – DOI: 10.31857/S0131164621030152.

103. Плешкань, А. В. Изучение свойств нервной системы по психомоторным показателям у спортсменов сложно-координационных, командных и циклических видов спорта / А. В. Плешкань, В. В. Шульга // Актуальные вопросы физической культуры и спорта. – 2021. – Т. 23. – С. 192-200.

104. Попова, Т. В. Особенности утомления при локальной работе мышц у представителей ациклических видов спорта / Т. В. Попова, Ю. И. Корюкалов // Наука и спорт: современные тенденции. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 28–32.

105. Практикум по экспериментальной и прикладной психологии / Л. И. Вансовская, В. К. Гайда, В. К. Гербачевский [и др.]; под ред. А. А. Крылова. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1990. – 272 с.

106. Прачева, А. А. Особенности психофизиологической реактивности студенток с различным стилем когнитивной деятельности в условиях модели регламентированной умственной нагрузки: дисс. ... канд. биол. наук / А. А. Прачева. – Челябинск, 2015. – 174 с.

107. Прибрам, К. Языки мозга: Экспериментальные парадоксы и принципы нейропсихологии / К. Прибрам. – М. : Прогресс, 1975. – 464 с.

108. Приймаков, А. А. Функциональные резервы системы управления движениями различного координационного состава в условиях напряженной мышечной деятельности у спортсменов / А. А. Приймаков, Е. Ейдер, С. И. Присяжнюк // Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 15: Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт). – 2015. – № 3 (1). – С. 298–303.

109. Применение гипербарической оксигенации и воздействия импульсным электрическим током с целью сохранения и повышения работоспособности спортсменов / М. А. Михальченков, А. И. Кудрин, М. М. Леонтьев [и др.] // Известия Российской военно-медицинской академии. – 2020. – Т. 39, № S3-5. – С. 88-92.

110. Применение нормобарической гипоксии в тренировке различных видов спорта как средства повышения специальной работоспособности спортсменов / А. С. Радченко, А. Б. Елизаров, Н. В. Колесников [и др.] // Физическая культура и здоровье молодежи (18 февраля 2022 г.). – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский гуманитарный университет профсоюзов, 2022. – С. 124-126

111. Применение транскраниальной электростимуляции, эндомассажа и магнитного поля для срочного восстановления и посттравматической

реабилитации спортсменов / Ю. В. Корягина [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 2019. – № 1. – С. 20–22.

112. Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации. – URL: <https://www.ras.ru/scientificactivity/planrf.aspx> (дата обращения: 15.03.2025).

113. Проприоцептивный контроль мышц верхней конечности у спортсменов-самбистов / А. А. Мельников, Е. С. Иконникова, Р. Х. Люкманов, Н. А. Супонева // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 3. – С. 329–337. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z203

114. Разработка модельных психофизиологических характеристик спортсменов игровых видов спорта (футбол и хоккей) / Е. В. Быков, Е. Г. Сидоркина, Е. А. Сазонова, О. В. Балберова // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6, № 3(20). – DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_03_38.

115. Роботизированная механотерапия в комплексе процедур для восстановления функционального состояния нервно-мышечного аппарата и периферической гемодинамики легкоатлетов / А. Ш. Абуталимов [и др.] // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2023. – Т. 100, № 3. – С. 39–45. – DOI: 10.17116/kurort202310003139.

116. Рокотова, Н. А. Нервная регуляция двигательной активности / Н. А. Рокотова // Механизмы переработки информации в сенсорных системах. – 1975. – С. 137.

117. Романов, С. П. Особенность активности нервной системы при управлении движением / С. П. Романов, З. А. Алексанян // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 5 (60). – С. 57–68.

118. Садчикова, Ж. Н. Физиология человека / сост. Ж. Н. Садчикова. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2009. – 65 с.

119. Самман, А. Мобильная платформа виртуальной реальности для восстановления функций верхних конечностей с использованием данных электромиографии / А. Самман, В. А. Шахнов // Вестник МГТУ им. Н. Э.Баумана. Сер. Приборостроение. – 2021. – № 3 (136). – С. 84–99.

120. Селезнева, И. С. Биохимические изменения при занятиях физкультурой и спортом / И. С. Селезнева, М. Н. Иванцова. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2019. – 162 с.

121. Сергиевич, Е. А. Методика ручного массажа, используемая в единоборствах после тренировочных занятий большого объема и интенсивности / Е. А. Сергиевич // Физическая культура в системе профессионального образования: идеи, технологии и перспективы. – 2021. – С. 166–171.

122. Середа, А. П. Рекомендации по оформлению дизайна исследования / А. П. Середа, М. А. Андрианова // Травматология и ортопедия России. – 2019. – Т. 25, № 3. – С. 165–184. – DOI: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-165-184

123. Скворцов, Д. В. Стабилометрическое исследование / Д. В. Скворцов. – 2010. – 171 с.

124. Сметанин, Б. Н. Влияние размера объекта, обеспечивающего зрительную обратную связь, на поддержание вертикальной позы человека / Б. Н. Сметанин, Ю. С. Левик, Г. В. Кожина, А. К. Попов // Физиология человека. – 2020. – Т. 46, № 6. – С. 108–120. – DOI: 10.31857/S0131164620060107.

125. Солодков, А. С. Физиологические механизмы и закономерности восстановительных процессов в спорте / А. С. Солодков, И. В. Левшин, А. Н. Поликарпочкин // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2007. – № 6. – С. 76–85.

126. Солодков, А. С. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная / А. С. Солодков, Е. Б. Сологуб. – М. : Олимпия Пресс, 2005. – 528 с.

127. Спинальная и сенсорная нейромодуляция спинальных нейронных сетей человека / Ю. П. Герасименко [и др.] // Физиология человека. – 2017. – Т. 43, № 5. – С. 6–16. – DOI: 10.7868/S013116461705006X.

128. Срочные эффекты применения роботизированной механотерапии в период восстановления после интенсивных физических нагрузок у легкоатлетов / А. Ш. Абуталимов, С. М. Абуталимова, Г. Н. Тер-Акопов и др. // Человек. Спорт. Медицина. – 2023. – Т. 23, № 2. – С. 193–199.

129. Существуют ли математические различия между произвольными и непроизвольными движениями? / П. Е. Коннов, В. М. Еськов, А. Ю. Кухарева, И. С. Самойленко // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2024. – № 3. – С. 57-68. – DOI: 10.12737/2306-174X-2024-3-54-63.

130. Табашникова, С. В. Случаи синкопальных состояний кардиоингибиторного типа во время пробы с физической нагрузкой / С. В. Табашникова, Е. В. Федорова, В. Г. Шалтанис // Вестник Челябинской областной клинической больницы. – 2009. – № 2(5). – С. 37.

131. Тапхаров, М. В. Массаж и самомассаж как основное средство восстановления организма после физической нагрузки / М. В. Тапхаров // Вестник Бурятского государственного университета. Философия. – 2014. – № 13–1. – С. 169–173.

132. Ткачева, К. Н. Новые направления спортивных дисциплин во всероссийском реестре видов спорта / К. Н. Ткачева, Ю. В. Соболев // Физическая культура и спорт в высших учебных заведениях: актуальные вопросы теории и практики: Материю национальной науч.-практич. конф. (16–18 ноября 2021 г.). – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский гос. аграрный ун-т, 2021. – С. 608–611.

133. Толонбаев, А. Т. Максимальное мышечное усилие у мужчин при различном виде хвата кистью / А. Т. Толонбаев, А. Д. Сенацкий // Лучшая студенческая статья 2024: Сб. статей XIV Международного научно-исследовательского конкурса (25 октября 2024 г.). – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. – С. 156-162.

134. Третьяк, А. Н. Современные средства восстановления работоспособности спортсмена / А. Н. Третьяк // Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports. – 2009. – № 10. – С. 249–253.

135. Физиологические и биомеханические механизмы координации ударных действий у спортсменов-единоборцев / Ю. П. Бредихина, Ф. А. Гужов, Л. В. Капилевич, А. А. Ильин // Вестник Томского государственного университета. – 2015. – № 394. – С. 194–200. – DOI: 10.17223/15617793/394/32.

136. Физиологические особенности формирования двигательной координации на основе тренировок с биологической обратной связью / А. В. Илларионова, С. Г. Кривошеков, А. А. Ильин, Л. В. Капилевич // Физиология человека. – 2022. – Т. 48, № 4. – С. 5-21. – DOI: 10.31857/S013116462204004X.

137. Фролова, А. С. Гендерные различия сенсомоторного реагирования студентов медицинского университета с разным типом вегетативной регуляции / А. С. Фролова, К. С. Кротенок // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2018. – № 5–8. – С. 58–63.

138. Функциональная активность реципрокного торможения α -мотонейронов мышц-антагонистов голени при разных типах мышечного сокращения субмаксимальной и максимальной силы / Д. А. Гладченко, С. М. Богданов, Л. В. Рощина, А. А. Челноков // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. – 2023. – Т. 31, № 2. – С. 185–194. – DOI: 10.17816/PAVLOVJ110739.

139. Хало, П. В. Спортивное мастерство как функциональное состояние мозга / П. В. Хало, Г. В. Хвалебо, Ю. Ю. Щеткин // Вестник Таганрогского института имени А.П. Чехова. – 2015. – № 2. – С. 216–223.

140. Хорева, О. Ю. Способы восстановления в спорте / О. Ю. Хорева, С. Ю. Махов // Наука-2020. – 2017. – № 1 (12). – С. 43–50.

141. Чэнь, И. Особенности нейродинамических процессов, определяющих уровень работоспособности нервной системы у юных баскетболистов Беларуси и Китая / И. Чэнь, В. И. Дунай, Н. Г. Аринчина. – 2022. – С. 376–380.

142. Шамсудинов, З. Р. Применение упражнений в статическом режиме на подвесной системе Экзарта в физической реабилитации спортсменов с межпозвоночной грыжей поясничного отдела / З. Р. Шамсудинов, Н. Л. Иванова // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2017. – № 5 (147). – С. 196-198.

143. Шевцов, А. В. Электронейромиографическая характеристика состояния нервно-мышечной системы у кикбоксеров / А. В. Шевцов, С. Л. Сашенков,

П. А. Байгужин // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. – 2009. – № 7. – С. 305–314.

144. Шитова, Е. С. Влияние локального мышечного утомления на биомеханические и вязкоупругие характеристики скелетных мышц / Е. С. Шитова [и др.] // Российский журнал биомеханики. – 2021. – Т. 25, № 4. – С. 444–455.

145. Шлык, Н. И. Брадикардия и вариабельность сердечного ритма у спортсменов / Н. И. Шлык, Е. А. Гаврилова // Человек. Спорт. Медицина. – 2023. – Т. 23, № S1. – С. 59–69.

146. Экспресс-средства восстановления в подготовительном периоде у спортсменов вольной борьбы / М. Г. Колодезникова, В. В. Ефремов, В. П. Неустроев, И. И. Степанов // Игры Манчаары: преемственность поколений в развитии национальных видов спорта – 2025: матер. Всеросс. науч.-практической конф. с международным участием (Якутск, 25 июня 2025 г.). – Чебоксары: ООО «Издательский дом «Среда», 2025. – С. 114–117.

147. Эрлих, В. В. Цифровизация технологий оперативной диагностики функциональных резервов и оценки подготовленности спортсменов / В. В. Эрлих, Д. З. Шибкова, П. А. Байгужин // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 52–66. – DOI 10.14529/hsm200107.

148. Ярмухаметова, А. А. Влияние активного отдыха на физиологию человека / А. А. Ярмухаметова, Р. Р. Тахаутдинов // Сборник материалов. – 2019. – С. 43–50.

149. Alpha Neurofeedback Training in Elite Soccer Players Trained in Groups / G.J.M. van Boxtel, A.J.J.M. Denissen, J.A. de Groot // Applied Psychophysiology and Biofeedback. – 2024. – Vol. 49(4). – P. 589–602. – DOI: 10.1007/s10484-024-09654-1

150. Anderson, A. The Pranaclimb Methodology: Non-Invasive Tracking of Critical Power and W'bal Modelling in Rock Climbing Using Breathing Rate, RPE, and HRR / A. Anderson // SportRxiv. – 2025. – DOI: 10.51224/SRXIV.578

151. Aslam, S. Neuromuscular adaptations to resistance training in elite versus recreational athletes / S. Aslam, J.D.D. Habyarimana, S.Y. Bin // Frontiers in Physiology. – 2025. – Vol. 16. – ID art. 1598149. – DOI: 10.3389/fphys.2025.1598149

152. ATP Reduces the Entry of Calcium Ions into the Nerve Ending by Blocking L-type Calcium Channels / E. F. Khaziev, D. V. Samigullin, A. N. Tsentsevitsky [et al.] // *Acta Naturae* (русскаяязычная версия). – 2018. – Vol. 10, № 2(37). – P. 100–103. – DOI: 10.32607/20758251-2018-10-2-93-96.

153. Body Composition, Anthropometric Parameters, and Strength-Endurance Characteristics of Sport Climbers: A Systematic Review / M. Ginszt, M. Saito, E. Zięba et al. // *Journal of Strength and Conditioning Research*. – 2023. – Vol. 37(6). – P. 1339–1348. – DOI: 10.1519/JSC.0000000000004464

154. Brooks, C. M. The Interaction Between Arousal, Negative Emotions, and Athlete Performance / C. M. Brooks // *Strategies*. – 2024. – Vol. 37, no. 2. – P. 8–14. – DOI: 10.1080/08924562.2023.2301084.

155. Cardiorespiratory coupling is associated with exercise capacity in athletes: A cross-sectional study / R. Martins de Abreu, B. Cairo, P. Rehder-Santos et al. // *Respiratory Physiology and Neurobiology*. – 2024. – Vol. 320. – ID art. 104198. – DOI: 10.1016/j.resp.2023.104198

156. Comparison of finger flexion strength and muscular recovery of male lead sport climbers across climbing classes / S. Son, Y. Seo, J. Son et al. // *Physical Therapy in Sport*. – 2024. – Vol. 65. – P. 122–129. – DOI: 10.1016/j.ptsp.2023.12.007

157. Corticomotor excitability of wrist flexor and extensor muscles during active and passive movement / L. Chye, K. Nosaka, L. Murray, D. J. Edwards, G. W. Thickbroom // *Human Movement Science*. – 2010. – Vol. 29, № 4. – P. 494–501.

158. Dai, X. Weekly Fluctuations in Subjective and Objective Measures of Internal Training Load and Their Relationships in Male Elite Rowers / X. Dai, J. Yan, X. Bi // *Journal of Sports Science and Medicine*. – 2025. – Vol. 24(2). – P. 269–276. – DOI: 10.52082/jssm.2025.269

159. DeCouto, B.S. Neuroimaging and perceptual-cognitive expertise in sport: A narrative review of research and future directions / B.S. DeCouto, M. Bilalić, A.M. Williams // *Neuropsychologia*. – 2024. – Vol. 205. – ID art. 109032. – DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2024.109032

160. Deep reinforcement learning for modeling human locomotion control in neuromechanical simulation / S. Song, Ł. Kidziński, X.B. Peng et al. // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. – 2021. – Vol. 18(1). – ID art. 126. – DOI: 10.1186/s12984-021-00919-y

161. Differences in Handgrip Strength-Endurance and Muscle Activation Between Young Male Judo Athletes and Untrained Individuals / R. de C. Honorato, E. Franchini, J.P.R. Lara et al. // *Research Quarterly for Exercise and Sport*. – 2021. – Vol. 92(1). – P. 1–10. – DOI: 10.1080/02701367.2019.1699233

162. Differences in the effects of a startle stimulus on rate of force development between resistance-trained rock climbers and untrained individuals: Evidence for reticulospinal adaptations? / D. Colomer-Poveda, E. López-Rivera, T. Hortobágyi et al. // *Scandinavian journal of medicine and science in sports*. – 2023. – Vol. 33, iss. 8. – P. 1360-1372. – DOI: 10.1111/sms.14351

163. Edwards, R. H. T. Physiological correlates of perceived exertion in continuous and intermittent exercise with the same average power output / R. H. T. Edwards, A. Melcher, C. M. Hesser // *European Journal of Clinical Investigation*. – 1972. – Vol. 2, № 2. – P. 108–114.

164. Effect of Localized Vibration Massage on Popliteal Blood Flow / D. Needs, J. Blotter, M. Cowan et al. // *Journal of Clinical Medicine*. – 2023. – Vol. 12(5). – ID art. 2047.

165. Effects of Different Test Positions on Quantitative Muscle Strength of Wrist and Finger Flexor Muscle Groups and Its Standardization / Z.R. Yang, D. Gao, Q. Xia et al. // *Fa Yi Xue Za Zhi*. – 2024. – Vol. 40(3). – P. 237–244. – DOI: 10.12116/j.issn.1004-5619.2023.230501

166. Effects of two-week machine massage on muscle properties in adolescent wrestlers / G. Qu, H. Wang, G. Zhou, H. Liu // *Frontiers in Physiology*. – 2023. – Vol. 1. – ID art. 1129836. – DOI: 10.3389/fphys.2023.1129836

167. Englert, C. Self-control – A critical discussion of a key concept in sport and exercise psychology / C. Englert // *Psychology of Sport and Exercise*. – 2025. – Vol. 80. – ID art. 102878. – DOI: 10.1016/j.psychsport.2025.102878

168. Erdağı, K. The effects of the presence or the absence of flexor digitorum superficialis tendon of the little finger on the handgrip strength of athletes / K. Erdağı // *Isokinetics and Exercise Science*. – 2020. – Vol. 28, no. 2. – P. 191–197.

169. Esposito, F. Electrical and mechanical response of finger flexor muscles during voluntary isometric contractions in elite rock-climbers / F. Esposito, E. Limonta, E. Cè, M. Gobbo, A. Veicsteinas, C. Orizio // *European journal of applied physiology*. – 2009. – Vol. 105, no. 1. – P. 81–92. – DOI: 10.1007/s00421-008-0876-6.

170. Exercise training and resting blood pressure: a large-scale pairwise and network meta-analysis of randomised controlled trials / J.J. Edwards, A.H.P. Deenmamode, M. Griffiths et al. // *British Journal of Sports Medicine*. – 2023. – Vol. 57. – P. 1317–1326.

171. Exploring Control Mechanism of Motoneuron Pools for the Forearm Antagonist Synergistic Muscles / H. Ren, X. Jiang, C. Dai // *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. – 2025. – Vol. 33. – P. 750–759. – DOI: 10.1109/TNSRE.2025.3539700

172. Exploring forearm muscle coordination and training applications of various grip positions during maximal isometric finger dead-hangs in rock climbers / B. Ferrer-Uris, D. Arias, P. Torrado et al. // *PeerJ*. – 2023. – Vol. 11. – ID art. e15464. – DOI: 10.7717/peerj.15464

173. Ferreira, R.M. Effects of Self-myofascial Release Instruments on Performance and Recovery: An Umbrella Review / R.M. Ferreira, P.N. Martins, R.S. Goncalves // *International Journal of Exercise Science*. – 2022. – Vol. 15(3). – P. 861–883.

174. Flexible sensors for force detection: A review / X. Zhao, L. Wang, Y. Hao, Y. Zhao, J. Zhang // *Surfaces and Interfaces*. – 2025. – Vol. 72. – ID art. 107361. – DOI: doi.org/10.1016/j.surfin.2025.107361

175. Gabbett, T.J. From Tissue to System: What Constitutes an Appropriate Response to Loading? / T.J. Gabbett, E. Oetter // *Sports Medicine*. – 2025. – Vol. 55(1). – P. 17–35. – DOI: 10.1007/s40279-024-02126-w

176. Garcia-Bernal, M. I. Validity and reliability of myotonometry for assessing muscle viscoelastic properties in patients with stroke: a systematic review and meta-analysis / M. I. Garcia-Bernal, P. Gonzalez-Garcia, M. J. Casuso-Holgado // *Scientific Reports*. – 2021. – Vol. 11, no. 1. – Art. 5062. – DOI: 10.1038/s41598-021-84570-6.

177. Gender differences in the level and trainability of students' coordination abilities (CAs) (review) / V. Lyakh, T. Ambroży, A. Skripko et al. // *Journal of Kinesiology and Exercise Sciences*. – 2023. – Vol. 101(33). – P. 38–50.

178. Giboin, L.-S. Neuromuscular Fatigue Induced by a Mixed Martial Art Training Protocol / L.-S. Giboin, M. Gruber // *Journal of Strength and Conditioning Research*. – 2022. – Vol. 36(2). – P. 469–477. – DOI: 10.1519/JSC.0000000000003468

179. Girolamo, M. Di Post-stroke rehabilitation of hand function based on electromyography biofeedback / M. Girolamo: PhD Thesis. – Torino : Politecnico di Torino, 2018. – 145 p. – DOI: 10.6092/polito/porto/2729320.

180. Giuriato, G. Capsaicin and Its Effect on Exercise Performance, Fatigue and Inflammation after Exercise / G. Giuriato, M. Venturelli, M. Matias [et.al.] // *Nutrients*. – 2022. – Vol. 14, no. 2. – Art. no. 232. – DOI: 10.3390/nu14020232.

181. Goodman, J.M. Evidence-based risk assessment and recommendations for exercise testing and physical activity clearance in apparently healthy individuals / J.M. Goodman, S.G. Thomas, J. Burr // *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. – 2011. – Vol. 36(S1). – P. S14-S32. – DOI: 10.1139/h11-048

182. Grohovsky, S. S. Metrological Assurance of Stabilometric Study / S. S. Grohovsky, O. V. Kubryak // *Biomedical Engineering*. – 2014. – Vol. 48, no. 4. – P. 196-199. – DOI: 10.1007/s10527-014-9451-0.

183. He, Y. The Effect of Cryotherapy on Balance Recovery at Different Moments after Lower Extremity Muscle Fatigue / Y. He, G. Fekete // *Physical Activity and Health*. – 2021. – Vol. 5(1). – P. 255–270. – DOI: 10.5334/paah.154

184. Importance of shoulder girdle and finger flexor muscle endurance in advanced male climbers / P. Draga, R. Rokowski, A. Sutor et al. // *Frontiers in Sports and Active Living*. – 2024. – Vol 6. – ID art. 1410636. – DOI: 10.3389/fspor.2024.1410636

185. Ischemic Preconditioning, But Not Priming Exercise, Improves Exercise Performance in Trained Rock Climbers / K.B. MacDougall, McClean Z.J., MacIntosh B.R. et al. // *Journal of Strength and Conditioning Research*. – 2023. – Vol. 37(11). – P. 2149–2157. – DOI: 10.1519/JSC.0000000000004565

186. James, A. Network physiology in exercise: A novel framework for integrative analysis of multisystem responses to physical training / A. James // *Journal of Sports and Rehabilitation Sciences*. – 2025. – Vol. 2, iss. 3. – P. 127–133. – DOI: 10.32598/JSRS.2503.1066

187. Kirkesola, G. Neurac – a new treatment method for long-term musculoskeletal pain / G. Kirkesola // *Journal of Fysioterapeuten*. – 2009. – Vol. 76, № 12. – P. 16–25.

188. Kocur, P. Assessment of myofascial stiffness of flexor digitorum superficialis muscles in rock climbers / P. Kocur, I. Piwińska, M. Goliwaj, K. Adamczewska // *Acta of Bioengineering and Biomechanics*. – 2021. – Vol. 23, no. 2. – P. 23–31.

189. Konrad, A. The acute effects of a percussive massage treatment with a hypervolt device on plantar flexor muscles' range of motion and performance / A. Konrad, C. Glashüttner, M. M. Reiner, // *Journal of Sports Science & Medicine*. – 2020. – Vol. 19, № 4. – P. 690–694.

190. Korobeynikov G. Psychophysiological diagnostics of the functional states in wrestlers / G. Korobeynikov, L. Korobeinikova, V. Shatskih // *International Journal of Wrestling Science*. – 2013. – Vol 3(2). – P. 5–13.

191. Langer, K. Physical performance testing in climbing – A systematic review / K. Langer, C. Simon, J. Wiemeyer // *Frontiers in Sports and Active Living*. – 2023. – Vol. 5. – ID art. 1130812. – DOI: 10.3389/fspor.2023.1130812

192. Left ventricular hypertrophy in athletes: How to differentiate between hypertensive heart disease and athlete's heart / F. D'Ascenzi, C. Fiorentini, F. Anselmi, S. Mondill // *European Journal of Preventive Cardiology*. – 2021. – Vol. 28, iss. 10. – P. 1125–1133. – DOI: 10.1177/2047487320911850

193. Li, Z.-M. The effect of finger extensor mechanism on the flexor force during isometric tasks / Z.-M. Li, V.M. Zatsiorsky, M.L. Latash // *Journal of Biomechanics*. – 2001. – Vol. 34, iss. 8. – P. 1097–1102. – DOI: 10.1016/S0021-9290(01)00061-6
194. Liarokapis, M. 20 – *Biomechatronics: A new dawn* / M. Liarokapis, K.A. Lamkin-Kennard, M.B. Popovic et al. // *Biomechatronics (Second Edition)* / Ed. M.B. Popović. Academic Press, 2025. – P. 637–659. – DOI: 10.1016/B978-0-443-13862-1.00012-6
195. Maximizing Cellular Adaptation to Endurance Exercise in Skeletal Muscle / J.A. Hawley, C. Lundby, J.D. Cotter, L.M. Burke // *Cell Metabolism*. – 2018. – Vol. 27, iss. 5. – P. 962–976. – DOI: 10.1016/j.cmet.2018.04.014
196. Measurement properties of upper extremity physical performance tests in athletes: a systematic review / G.M. Barbosa, L.B. Calixtre, H.R. Fonseca Fialho et al. // *Brazilian Journal of Physical Therapy*. – 2024. – Vol. 28(1). – ID art.100575. – DOI: 10.1016/j.bjpt.2023.100575
197. Mechanical Percussion Devices: A Survey of Practice Patterns Among Healthcare Professionals / S.W. Cheatham, R.T. Baker, D.G. Behm et al. // *International Journal of Sports Physical Therapy*. – 2021. – Vol. 16(3). – P. 766–777
198. Mehmet, K. Comparison of single and multiple joint muscle functions and neural drive of trained athletes and untrained individuals / K. Mehmet // *Isokinetics and Exercise Science*. – 2021. – Vol. 29. – P. 443–453. – DOI: 10.3233/IES-203225 IOS
199. Melnikov, A.A. Regulation of the Vertical Posture in Athletes / A.A. Melnikov, R.Y. Nikolaev, V.L. Boykov // *Human Physiology*. – 2023. – Vol. 49 (1). – P. S42–S63. – DOI: 10.1134/S0362119723700561
200. Mitchell, A.C. Relationship between anthropometric characteristics of indoor rock climbers and top roped climbing performance / A.C. Mitchell, A. Bowhay, J. Pitts // *Journal of Strength and Conditioning Research*. – 2011. – Vol. 25. – 94–95. – DOI: 10.1097/01.JSC.0000395728.22365.7d
201. Model characteristics of the psychophysiological state of highly qualified athletes in a stressful situation / O. Borysova, V. Nagorna, S. Shytova, A. Mytko // *Sports science and human health*. – 2019. – Vol. 1(1). – P. 12–17.

202. Muckelt, P. E. Protocol and reference values for minimal detectable change of MyotonPRO and ultrasound imaging measurements of muscle and subcutaneous tissue / P. E. Muckelt, T. Hülsmüller, C. Ostermann // *Scientific Reports*. – 2022. – Vol. 12, no. 1. – Art. no. 13654.

203. Muscle strength and endurance in high-level rock climbers / R. Rokowski, M. Michailov, M. Maciejczyk et al. // *Sports Biomechanics*. – 2021. – Vol. 23(8). – P. 1057–1072. – DOI: 10.1080/14763141.2021.1916577

204. Muscle strength in sport climbing: a systematic review and meta-analysis / S.A. Skriver, R. Sørensen, M. Oxfeldt, U. Dalgas // *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. – 2025. – Vol. 65(1). – P. 80–89. – DOI: 10.23736/S0022-4707.24.15925-7.

205. Natarajan, B. Syncope and near syncope in competitive athletes / B. Natarajan, V. Nikore // *Current Sports Medicine Reports*. – 2006. – Vol. 5, no. 6. – P. 300–306. – DOI: 10.1097/01.csmr.0000306434.36606.43.

206. Nguyen, A. P. MyotonPro Is a Valid Device for Assessing Wrist Biomechanical Stiffness in Healthy Young Adults / A. P. Nguyen, C. Detrembleur, P. Fisette, // *Frontiers in Sports and Active Living*. – 2022. – Vol. 4. – ID art. 797975. – DOI: 10.3389/fspor.2022.797975.

207. Nunan, D. A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults / D. Nunan, G.R.H. Sandercock, D.A. Brodie // *Pacing and Clinical Electrophysiology*. – 2010. – Vol. 33. – P. 1407–1417.

208. Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance / C.M. Mermier, J.M. Janot, D.L. Parker, J.G. Swan // *British Journal of Sports Medicine*. – 2000. – Vol. 34. – P. 359–365. – DOI: 10.1136/bjism.34.5.359

209. Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance / D. MacLeod, D.L. Sutherland, L. Buntin [et al.] // *Journal of Sports Sciences*. – 2007. – Vol. 25(12). – P. 1433–1443. – DOI: 10.1080/02640410600944550.

210. Podlogar, T. Recovery practices of Slovenian sport climbers / T. Podlogar // *Kinesiologia Slovenica: Scientific Journal on Sport*. – 2023. – Vol. 29(3). – P. 135–152. DOI: 10.52165/kinsi.29.3.132-152

211. Pryimakov, A. A. Stability of equilibrium in upright stance and voluntary motion control in athletes-shooters in the process of ready position and target shooting / A.A. Pryimakov, E. Eider, E.V. Omelchuk // *Physical education of students*. – 2015. – Vol. 19, № 1. – P. 36–42.

212. Quaine, F. Finger flexors fatigue in trained rock climbers and untrained sedentary subjects / F. Quaine, L. Vigouroux, L. Martin // *International Journal of Sports Medicine*. – 2003. – Vol. 24(6). – P. 424–427. – DOI: 10.1055/s-2003-41174.

213. Reliability and Convergent Validity of Endurance Indices Derived from Near-Infrared Spectroscopy and Electromyography during a Bilateral Hanging Task in Amateur Rock Climbers / W.-H. Kwong, J.-Q. Li, C.-H. Lui, et al. // *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. – 2024. – Vol. 9. – ID art. 161. – DOI: 10.3390/jfmk9030161

214. Response of arm flexor muscles to magnetic and electrical brain stimulation during shortening and lengthening tasks in man / G. Abbruzzese, M. Morena, L. Spadavecchia, M. Schieppati // *The Journal of Physiology*. – 1994. – Vol. 481, № 2. – P. 499–507. – DOI: 10.1113/jphysiol.1994.sp020457.

215. Right heart exercise-training-adaptation and remodelling in endurance athletes / V. Conti, F. Migliorini, M. Pilone et al. // *Scientific Reports*. – 2021. – Vol. 11. – ID art. 22532. – DOI: 10.1038/s41598-021-02028-1

216. Rittweger, J. Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise / J. Rittweger, M. Mutschelknauss, D. Felsenberg // *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2003. Vol. 23(2). P. 81–86.

217. Saldıran, T. Ç. Quantifying thenar muscle biomechanical properties: Sex-based variations and implications for grip strength / T. Ç. Saldıran, R. Schleip, A. Tanhan // *Journal of Hand Therapy*. – 2025. – Vol. 6. – ID art. S0894-1130(24)00165-0. – DOI: 10.1016/j.jht.2024.11.009.

218. Savić, R. Psychomotor pattern for neurological assessment of reflex in karate and taekwondo / R. Savić, M. Kalinović // *SPORT – Science and Practice*. – 2022. – Vol. 12(1). – P. 9-21. – DOI: 10.5937/snp12-1-37984

219. Sekiguchi, H. Differences in recruitment properties of the corticospinal pathway between lengthening and shortening contractions in human soleus muscle / H. Sekiguchi, K. Nakazawa, S. Suzuki // *Brain Research*. – 2003. – Vol. 977, no 2. – P. 169–179.

220. Shibasaki, H. What is the Bereitschaftspotential? / H. Shibasaki, M. Hallett // *Clinical Neurophysiology*. – 2006. – Vol. 117, № 11. – P. 2341–2356. – DOI: 10.1016/j.clinph.2006.04.025.

221. Slobounov, S. Neural underpinning of postural responses to visual field motion / S. Slobounov, M. Hallett, S. Stanhope, H. Shibasaki // *Biological Psychology*. – 2006. – Vol. 72, № 2. – P. 188–197.

222. Steindler, A. Classics: The biology of functional restoration / A. Steindler // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. – 1983. – Vol. 177. – P. 4–8.

223. Stien, N. Tests and Procedures for Measuring Endurance, Strength, and Power in Climbing – A Mini-Review / N. Stien, A.H. Saeterbakken, V. Andersen // *Frontiers in Sports and Active Living*. – 2022. – Vol. 4. – ID art. 847447. – DOI: 10.3389/fspor.2022.847447

224. Suchý, J. The effect of inhaling concentrated oxygen on performance during repeated anaerobic exercise / J. Suchý, J. Heller, V. Bunc // *Biology of Sport*. – 2010. – Vol. 27, no. 3. – P. 197–203.

225. Tantipoon, P. Characterization of flexor digitorum superficialis muscle stiffness using ultrasound shear wave elastography and MyotonPRO: a cross-sectional study investigating the correlation between different approaches / P. Tantipoon, B. Chinsongkram, S. Boonyong // *Applied Sciences*. – 2023. – Vol. 13, № 11. – ID Art. 6384. – DOI: 10.3390/app13116384.

226. Tendon and nerve displacement at the wrist during finger movements / U.C. Ugbolue, W.H. Hsu, R.J. Goitz, Z.M. Li // *Clinical biomechanics*. – 2005. – Vol. 20(1). – P. 50–56. – DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2004.08.006

227. The effect of acute exercise on cognitive and motor inhibition-Does fitness moderate this effect? / Y. Netz, S.F. Herschkovitz, O. Levin, G. Ziv // *Psychology of Sport and Exercise*. – 2023. – Vol. 65. – ID art. 102344. – DOI: 10.1016/j.psychsport.2022.102344

228. The Effects of Regular Cold-Water Immersion Use on Training-Induced Changes in Strength and Endurance Performance: A Systematic Review with Meta-Analysis / E.S. Malta, Y.M. Dutra, J.R. Broatch et al. // *Sports Medicine*. – 2021. – Vol. 51(1). – P. 161-174. – DOI: 10.1007/s40279-020-01362-0

229. The role of arm position during finger flexor strength measurement in sport climbers / J. Baláš, M. Panáčková, J. Kodejška et al. // *International Journal of Performance Analysis in Sport*. – 2014. – Vol. 14(2). – P. 345–354. – DOI: 10.1080/24748668.2014.11868726

230. Thompson, S.T. Extensor physiology in the hand and wrist / S.T. Thompson, M.A. Wehbé // *Hand Clinics*. – 1995. – Vol. 11(3). – P. 367–371.

231. Training-induced acceleration of O₂ uptake on-kinetics precedes muscle mitochondrial biogenesis in humans / J. A. Zoladz, B. Grassi, J. Majerczak [et al.] // *Experimental Physiology*. – 2013. – Vol. 98, no. 4. – P. 883–898. – DOI: 10.1113/expphysiol.2012.069443.

232. Tremor evaluation using smartphone accelerometry in standardized settings / G. Sahin, P. Halje, S. Uzun et al. // *Frontiers in Neuroscience*. – 2022. – Vol. 16. – ID art. 861668. – DOI: 10.3389/fnins.2022

233. Under the Gun: Percussive Massage Therapy and Physical and Perceptual Recovery in Active Adults / A.J. Leabeater, A.C. Clarke, L. James // *Journal of Athletic Training*. – 2024. – Vol. 59(3). – P. 310–316. – DOI: 10.4085/1062-6050-0041.23

234. Use of heart rate variability in the training of elite wrestlers / G. Korobeynikov, L. Korobeinikova, M. Raab et al. / *Proceedings from the UWW Scientific Symposium, «Using Sport Science to Help Wrestlers and Coaches» (Belgrade, September 20, 2023)* // *Official Journal of the International Network of Wrestling Researchers*. – 2023. – Vol. 13 (2). – P. 32–37.

235. Usgu, S. The Relation of Body Mass Index to Muscular Viscoelastic Properties in Normal and Overweight Individuals / S. Usgu, E. Ramazanoğlu, Y. Yakut // *Medicina (Kaunas)*. – 2021. – Vol. 57, no. 10. – Art. no. 1022. – DOI: 10.3390/medicina57101022.

236. Validity and normative scores of finger flexor strength and endurance tests estimated from a large sample of female and male climbers / P. Berta, M. Michailov, D. Kaško et al. // *Journal of Sports Sciences*. – 2025. – Vol. 43(3). – P. 245–255. – DOI: 10.1080/02640414.2024.2449316

237. Vigouroux, L. Estimation of hand and wrist muscle capacities in rock climbers / L. Vigouroux, B. Goislard de Monsabert, E. Berton // *European Journal of Applied Physiology*. – 2015. – Vol. 115(5). – P. 947–957. – DOI: 10.1007/s00421-014-3076-6.

238. Wu, D.Y. A new shortcut for competitive sports development? The purpose of and strategy for developing and introducing sepaktakraw in Taiwan / D.Y. Wu, T.C. Tan, Y.T. Wang // *PLoS One*. – 2025. – Vol. 20(1). – ID art. e0317451. – DOI: 10.1371/journal.pone.0317451

239. Yeadon, M.R. Fifty years of performance-related sports biomechanics research / M.R. Yeadon, M.T.G. Pain // *Journal of Biomechanics*. – 2023. – Vol. 155. – ID art. 111666. – DOI: 10.1016/j.jbiomech.2023.111666