

На правах рукописи

Малякина Анастасия Александровна

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ПЛЕЧЕВОГО СУСТАВА У ДЕВУШЕК-ГАНДБОЛИСТОК
ПРИ АДАПТАЦИИ К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ
ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА**

1.5.5. Физиология человека и животных

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Волгоград, 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научный руководитель:

Севрюкова Галина Александровна – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры нормальной физиологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Официальные оппоненты:

Голубева Елена Константиновна – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры нормальной физиологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Литвин Фёдор Борисович – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры биологических дисциплин федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Смоленский государственный университет спорта»

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет физической культуры и спорта»

Защита состоится «.....» 2026 г. в часов на заседании диссертационного совета 21.2.005.06 при ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России по адресу: 400066, Россия, г. Волгоград, площадь Павших Борцов, зд. 1.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России по адресу: 400066, Россия, г. Волгоград, площадь Павших Борцов, зд. 1; на сайтах: www.volgmed.ru и www.vak2.ed.gov.ru.

Автореферат разослан «.....» 2026 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета 21.2.005.06
доктор биологических наук, доцент

Севрюкова Галина Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время тренировочный и соревновательный процессы в игровых видах спорта, включая гандбол, характеризуются высокой интенсивностью, ациклическим, интервальным характером работы, необходимостью повторяющихся скоростно-силовых действий, прыжков, резких ускорений и смены направлений движения в условиях дефицита времени, что обуславливает существенное увеличение нагрузки на опорно-двигательный аппарат, в том числе на плечевой сустав, выполняющий большой объём высокоскоростной и мощной работы, сопряжённой с экстремальными положениями и высокой нагрузкой на мышечно-сухожильный и капсульно-связочный аппарат (Krüger K. et al., 2014; Haksever B. et al., 2021; Эсенев О. А., Сылапов Ч. А., 2024; Табаков А. И. с соавт., 2025). На фоне увеличивающихся объёмов тренировочных нагрузок и роста соревновательной активности возрастает риск формирования функциональных нарушений в плечелопаточном комплексе, что может ограничивать спортивную работоспособность и препятствовать достижению высоких результатов (Nielsen R. O. et al., 2018; Eckard T. G. et al., 2018; Bjørndal C. T. et al., 2021). С точки зрения физиологии движений особый интерес представляет взаимосвязь характеристик двигательного паттерна плечевого сустава с периферической гемодинамикой в регионе «плечо – предплечье». Данный аспект рассматривается в ряде работ, посвящённых состоянию регионарного кровообращения у спортсменов (Дратцев Е. Ю. с соавт., 2008), анализу реактивности гемодинамических показателей в ответ на физическую нагрузку (Тишутин Н. А. с соавт., 2020; Литвин Ф. Б. с соавт., 2024, 2025).

Современные исследования показывают, что причинно-следственная связь между амплитудой движений и периферической гемодинамикой носит двунаправленный характер: с одной стороны, ограничение подвижности уменьшает активность мышечной помпы, ухудшает венозный отток и снижает физиологическую стимуляцию артериального кровотока (Spanhove V. et al., 2021; Lee J. et al., 2025), с другой стороны, исходные нарушения артериального притока, микроциркуляции или венозного дренажа приводят к ишемии, отёку, повышению тканевого давления и болевому синдрому, формируя предпосылки для уменьшения диапазона движений (Stapleton C. et al., 2009). Данные о реографических параметрах убедительно демонстрируют, что хроническое ухудшение микроциркуляции сопровождается изменением гидратации соединительной ткани, ремоделированием коллагенового матрикса, снижением эластичности капсулы и сухожилий, что повышает риск контрактур, капсулярной ригидности и устойчивых ограничений как активной, так и пассивной подвижности плечевого сустава (Гаранин А. А. с соавт., 2016).

В современной концепции развития детско-юношеского спорта подчёркивается важность совершенствования процесса сопровождения, внедрения персонализированных протоколов наблюдения и технологий раннего выявления неблагоприятных функциональных изменений, связанных с тренировочным стрессом (Приказ ФМБА России от 08.09.2023 № 178; Распоряжение Правительства РФ от 24 ноября 2020 г. № 3081р; Распоряжение Правительства РФ от 28 декабря 2021 г. № 3894-р; Постановление Администрации Волгоградской области от 28.01.2026 № 189-п). В связи с этим сочетанное применение гониометрии, в том числе с использованием современных цифровых методик, и реографии в регионе «плечо – предплечье» у девушек-гандболисток представляется перспективным подходом, позволяющим не только количественно оценить амплитуду движений, но и охарактеризовать регионарное кровоснабжение и венозный дренаж в рамках ключевых звеньев функционального состояния плечевого сустава, определяющих конечный двигательный паттерн (Малякина А. А. с соавт., 2023, 2025, 2026; Демкин С. А. с соавт., 2023; Стародубцев М. П., 2026).

В работах, посвященных анализу микроциркуляторных реакций у спортсменов, обоснована важность совместной оценки гемодинамических и функциональных параметров для понимания механизмов адаптации (Литвин Ф. Б. с соавт., 2024, 2025). Совместный анализ углометрических и реографических параметров может быть использован для ранней диагностики функциональных нарушений, объективного мониторинга динамики в процессе тренировки и восстановления, а также для разработки персонализированных программ сопровождения, направленных на сохранение и оптимизацию функциональной подвижности плечевого сустава у девушек-гандболисток, что определяет высокую актуальность комплексного исследования функциональной характеристики плечевого сустава у данного контингента спортсменок при адаптации к физическим нагрузкам тренировочного процесса.

Степень разработанности темы. В настоящее время хорошо изучены структура тренировочных и соревновательных нагрузок и особенности физической подготовленности девушек-гандболисток. Исследования А. И. Табакова, В. Н. Коновалова, Е. А. Реуцкой, М. В. Романенко (2024, 2025), а также О. А. Эсенова и Ч. А. Сылапова (2024) детально характеризуют скоростно-силовую подготовленность, этапный контроль функционального состояния и морфофункциональные показатели спортсменок, занимающихся гандболом. Авторами показана высокая доля прыжковых и бросковых действий в формировании значительной нагрузки на плечевой сустав в соревновательной деятельности. В трудах А. Г. Щученко, К. К. Бондаренко (2022), Y. Ramasamy, J. Usman, R. Razman (2023) представлены современные взгляды на биомеханику overhead movements, кинематику плечевого сустава и роль ротаторной манжеты и лопаточных стабилизаторов при ударных и бросковых действиях. В этих исследованиях подробно описаны угловые скорости, фазы движения, кинематические цепи и распределение нагрузок на структуры плечевого сустава, однако акцент делается преимущественно на кинематику и силовую подготовленность, а не на комплексную функциональную оценку с учётом регионарной гемодинамики.

В отечественной и зарубежной литературе достаточно полно рассмотрены общие морфофункциональные и физиологические особенности адаптации женского организма к физическим нагрузкам. В работах Л. Р. Шафиковой (2006), А. С. Солодкова и Е. Б. Сологуб (2015), А. С. Хорьковой (2016), А. В. Черкасовой (2021) описаны половой диморфизм, особенности мышечной и костной массы, связочного аппарата и вегетативных реакций женщин при систематической тренировке, подчёркиваются меньшая мышечная масса с менее выраженной гипертрофией мышц и повышенной эластичностью связок, что создаёт предпосылки для увеличения функциональной нагрузки и уязвимости суставов, в том числе плечевого, при интенсивных физических воздействиях. В исследованиях последних лет уделяется внимание вопросам влияния овариально-менструального цикла на работоспособность и риск травматизма у спортсменок (McNulty K. L. et al., 2020; Carmichael M. A. et al., 2021; Meignié A. et al., 2021; Graja A. et al., 2022; Борисова О. И., 2022; Martínez-Fortuny N. et al., 2023; Arslan E., Ercan S., 2025), наряду с особенностями вегетативной регуляции у женщин (Голубева Е. К. с соавт., 2023, 2024, 2025; Борисова О. И., 2025).

Существенный вклад в разработку проблемы внесли работы, посвящённые периферическому кровообращению у спортсменов. Так, Е. Ю. Дратцев с соавт. (2008) исследовали состояние регионарного кровотока у спортсменов высокой квалификации и описали характер изменений артериального притока, сосудистого тонуса и венозного оттока под влиянием физических нагрузок. Н. А. Тишутин с соавт. (2020), а также Ф. Б. Литвин с соавт. (2024) изучали реактивность гемодинамических показателей и микроциркуляторные реакции на дозированную нагрузку в различных видах спорта, что позволило им описать типичные профили гемодинамических сдвигов

у тренированных лиц. В данных работах, в том числе в исследованиях О. Н. Кудря с соавт. (2022, 2024), подчеркивается, что состояние регионарного кровообращения является важным звеном в обеспечении физической работоспособности и отражает адаптационные процессы, происходящие в организме спортсмена. Эти работы обосновали важную роль регионарного кровотока в обеспечении работоспособности мышц и суставов, однако в подобных работах отсутствуют данные о сочетанности реографических показателей с детальным анализом амплитудных характеристик движений в конкретном суставе.

В зарубежной литературе достаточно подробно представлены биомеханические аспекты функционирования плечевого сустава при overhead movements, включая анализ кинематических цепей, угловых скоростей и роли ротаторной манжеты (Asker M. et al., 2018; Bakshi N. et al., 2018; Ramasamy Y. et al., 2023), а также механизмы нарушения регионарной гемодинамики, связанные с изменением артериального притока, сосудистого тонуса и венозного оттока (Stapleton C. et al., 2009; Гаранин А. А. с соавт., 2016; Lee J. et al., 2025).

Активно изучаются факторы риска травм плеча у спортсменок, занимающихся overhead видами спорта (Steele M. C. et al., 2025), а также применение методов ограничения кровотока для оптимизации физиологических показателей и функционального восстановления (McGinniss J. H. et al., 2022; Lambert B. S. et al., 2023; Tyshchenko D. et al., 2025). Вместе с тем в доступной литературе практически отсутствуют работы, в которых периферическое кровообращение и гониометрические параметры плечевого сустава рассматривались бы в рамках единого комплексного подхода у спортсменок игровых видов спорта, включая гандбол. Имеющиеся исследования изолированно сфокусированы либо на биомеханике движений, либо на гемодинамических реакциях, в них не отражается наличие межсистемных связей между этими двумя группами показателей в условиях тренировочного процесса и после его прекращения.

Таким образом, к настоящему времени в достаточной мере разработаны общие физиологические основы адаптации женского организма, структура тренировочной и соревновательной деятельности гандболисток, биомеханика overhead movements и методические подходы к оценке периферического кровообращения. В то же время остаётся недостаточно изученным комплексный подход, предполагающий одновременную количественную оценку амплитудных характеристик плечевого сустава и реографических показателей в регионе «плечо – предплечье» у девушек-гандболисток при адаптации к условиям тренировочного процесса. В связи с этим настоящая работа представляет собой интегральное исследование, в котором функциональная характеристика плечевого сустава рассматривается как многофакторная система, объединяющая морфофизиологические, гониометрические и гемодинамические компоненты. Отсутствие подобных исследований определяет неполную степень разработанности данной проблемы и актуализирует необходимость её изучения в рамках диссертационного исследования.

Цель исследования – комплексная оценка периферической гемодинамики в регионе «плечо – предплечье» и её связи с амплитудными характеристиками активных движений плечевого сустава у девушек-гандболисток при адаптации к физическим нагрузкам тренировочного процесса.

Задачи исследования:

1. Оценить морфофункциональный профиль, показатели периферического кровообращения в регионе «плечо – предплечье» и гониометрические параметры плечевого сустава у девушек-гандболисток с различной спортивной деятельностью.

2. Исследовать особенности динамики периферического кровообращения в регионе «плечо – предплечье» у девушек-гандболисток с различной спортивной деятельностью на фоне функциональных проб и охарактеризовать типологию срочных адаптивных реакций.

3. Установить сопряжённость показателей периферического кровообращения с амплитудными характеристиками активных движений плечевого сустава у девушек-гандболисток с различной спортивной деятельностью.

4. Создать программу объективной диагностики активных движений в плечевом суставе на основе применения искусственных нейронных сетей и видеоанализа движений.

Новизна результатов исследования. На основе комплексного исследования функциональных характеристик плечевого сустава у девушек-гандболисток при адаптации к физическим нагрузкам тренировочного процесса впервые:

- выявлены разнонаправленные реакции периферического кровообращения в регионе «плечо – предплечье», обуславливающие латеральную типологию срочных адаптивных реакций на функциональные пробы: у действующих спортсменок формируется адаптивный, совершенный тип регуляции сосудистого ответа с согласованным снижением пульсового кровенаполнения, компенсаторным повышением тонуса резистивных сосудов и сохранным венозным оттоком, тогда как у завершивших спортивную карьеру – дезадаптивный, напряжённый с сегментарно неоднородной сосудистой реактивностью, сопровождающейся избыточным ростом периферического сопротивления и застойными явлениями в венозном русле;

- установлена межсистемная сопряжённость между показателями периферического кровообращения (в покое, на фоне ортостатической и статической нагрузок) и амплитудными характеристиками активных движений плечевого сустава. У действующих спортсменок выявлены положительные корреляции коэффициентов сдвига на нагрузку с угловыми амплитудами отведения, отражающие сохранную сосудисто-двигательную адаптацию; у завершивших спортивную карьеру доминируют обратные корреляции, свидетельствующие о снижении сопряжённости между двигательным и сосудистым компонентами реакций адаптации. Выявленная взаимосвязь между гониометрическими и реографическими параметрами послужила физиологическим обоснованием для разработки объективного метода компьютерной гониометрии «Артро-Про», позволяющего с высокой точностью регистрировать минимальные изменения амплитуды движений в плечевом суставе и своевременно выявлять донозологические функциональные нарушения;

- создана программа компьютерной гониометрии «Артро-Про» на основе искусственных нейронных сетей и видеоанализа движений, обеспечивающая объективную воспроизводимость измерений, регистрацию минимальных латеральных различий, цифровое хранение динамики гониометрических данных и возможность сопоставления угловых (амплитудных) характеристик с реографическими переменными в единой аналитической системе. Новизна разработанной методологии заключается в одновременной оценке угловой амплитуды отведения плеча и угловой амплитуды подъёма плечевого пояса, что позволяет выявить ранние компенсаторные нарушения плечелопаточного ритма и повысить точность оценки функции собственно плечевого сустава;

- обоснована физиологическая целесообразность использования компьютерной гониометрии как инструмента объективизации диагностики функциональных нарушений плечевого сустава у действующих спортсменов и завершивших спортивную карьеру, а также у лиц с профессиональными нарушениями опорно-двигательного аппарата, что позволяет своевременно выявлять латеральную асимметрию и проводить мониторинг

функционального состояния верхней конечности в динамике тренировочного процесса и восстановительных мероприятий.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные результаты расширяют фундаментальное знание о физиологических механизмах адаптации периферического кровообращения верхних конечностей у спортсменок игровых видов спорта к специфическим нагрузкам тренировочного процесса и после прекращения спортивной деятельности. Практическая значимость исследования заключается в том, что созданная компьютерная программа «Артро-Про» может быть рекомендована для включения в план скрининга функционального состояния плечевого сустава у спортсменов и лиц с профессиональными нарушениями опорно-двигательного аппарата с последующим выявлением ограничений функции плечевого сустава и созданием превентивных программ. Полученные в ходе исследования результаты могут быть использованы в учебном процессе на кафедрах физиологического профиля медицинских, биологических, педагогических и физкультурных вузов.

Связь с планом научно-исследовательских работ университета и отраслевыми программами. Диссертационная работа выполнена в соответствии с «Концепцией развития детско-юношеского спорта в Российской Федерации до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2021 года № 3894-р в рамках научно-исследовательских и технологических работ ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России «Научно-методологическое обоснование применения цифровой гониометрии на основе технологии искусственных нейронных сетей для профилактики травматизма в детско-юношеском спорте» (договор № 49 от 01 марта 2024 г. с ГАУ ДО Волгоградской области «Спортивная школа по гандболу «Динамо»), плановой научно-исследовательской работы кафедры нормальной физиологии ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России «Физиология адаптации человека: оценка, прогнозирование, способы функциональной коррекции и реабилитации», подраздел «Функциональная характеристика плечевого сустава у девушек-гандболисток при адаптации к физическим нагрузкам тренировочного процесса».

Методология и методы исследования. В основу методологии диссертационного исследования положен комплексный подход, включающий сравнительный анализ результатов физиологического исследования морфофункционального статуса, двигательного паттерна, регионарного кровообращения у девушек-гандболисток в зависимости от спортивной деятельности. Аналитический этап работы включал изучение, анализ и обобщение данных научной литературы о государственной политике и нормативно-правовом регулировании развития детско-юношеского спорта в России, о физиологических аспектах адаптации организма девушек к физическим нагрузкам тренировочного процесса игровых командных видов спорта, об особенностях организации движений плечевого сустава при вовлечении верхней конечности в тренировочный процесс в игровых командных видах спорта. На следующем этапе диссертационной работы проводилась оценка морфофункционального профиля, периферической гемодинамики в регионе «плечо – предплечье» (фон, функциональные пробы), определялись гониометрические параметры плечевого сустава у девушек-гандболисток с различной спортивной деятельностью. Сравнительное исследование позволило оценить реографические показатели кровотока в регионе «плечо – предплечье» и выявить их взаимосвязь с амплитудными характеристиками активных движений плечевого сустава. На заключительном этапе аргументировались методологические подходы к созданию

и валидации программы для объективной количественной диагностики функциональных нарушений плечевого сустава (авторская программа компьютерной гониометрии «Артро-Про»), что позволило обосновать её применение для функциональной диагностики у спортсменов и лиц с профессиональными нарушениями опорно-двигательного аппарата.

В работе использовались физиологические методы оценки морфофункционального профиля, системной и периферической гемодинамики организма и классическая ручная гониометрия. Оценка физического развития и компонентного состава тела проводилась по стандартным антропометрическим методикам с расчётом индекса массы тела, индекса кистевой силы, уровня физического развития и методом биоимпедансометрии (анализатор состава тела Tanita BC-601 (Япония). Исследование системной гемодинамики включало измерение артериального давления, частоты сердечных сокращений с расчётом интегральных показателей, таких как вегетативный индекс Кердо, двойное произведение, коэффициент выносливости. Параметры периферического кровообращения в регионе «плечо – предплечье» регистрировали с помощью модуля «Реовазография» АПК «Рео-Спектр» (ООО Нейрософт, г. Иваново) с анализом реографического индекса, амплитудно-частотного показателя, модуля упругости, диастолического и диастолического индексов, показателей венозного оттока в фоновом состоянии и на фоне выполнения функциональных проб (ортостатическая проба, статическая нагрузка). Оценка функции плечевого сустава проводилась методами классической ручной гониометрии и авторской методикой «Артро-Про».

Статистическая обработка результатов осуществлялась с помощью программы SPSS-26. Для определения соответствия нормальному распределению использовался критерий Шапиро – Уилка. При отсутствии соответствия нормальному распределению в работе использовались методы непараметрической статистики [медиана (Me), межквартильный размах (Q25; Q75)]. Корреляционный анализ проводили с помощью ранговой корреляции Спирмена. Статистически значимыми считались различия показателей и корреляции при уровне $p \leq 0,05$.

Согласно Хельсинкской Декларации Всемирной Медицинской Ассоциации (World Medical Association Declaration of Helsinki, 1964 г., с дополнениями – 1975, 1983, 1989, 2000 гг.) все девушки-гандболистки подписывали информированное согласие на участие в исследовании. Текст информированного согласия, дизайн и протокол исследования соответствовали биоэтическим принципам (протоколы ЛЭК ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России № 2022/149 от 21.10.2022, № 2024/244 от 29.11.2024).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Адаптация к физическим нагрузкам тренировочного процесса у девушек-гандболисток сопровождается специфическими изменениями компонентного состава тела, латеральной асимметрией системной и регионарной гемодинамики и ограничением амплитуды сгибания и отведения в плечевом суставе ведущей руки, что отражает перестройку двигательного паттерна.

2. Функциональные пробы (ортостатическая и статическая) выявляют латеральную типологию срочных адаптивных реакций периферического кровообращения в регионе «плечо – предплечье» у девушек-гандболисток с различной спортивной деятельностью, отражая физиологическую «цену» адаптации у действующих спортсменок и признаки детренированности у завершивших карьеру.

3. Межсистемная сопряжённость показателей периферического кровообращения с амплитудными характеристиками движений плечевого сустава служит физиологическим

обоснованием для создания программы компьютерной гониометрии «Артро-Про» на основе нейронных сетей и видеоанализа движений, обеспечивающей объективную диагностику функциональных нарушений плечевого сустава.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационное исследование полностью соответствует паспорту специальности 1.5.5. Физиология человека и животных (медицинские науки): 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; п. 7. Исследование механизмов сенсорного восприятия и организации движений; п. 12. Разработка новых методов исследований функций животных и человека; п. 13. Конституционально-типологическая специфика проявлений физиологических функций.

Личный вклад автора. Личный вклад соискателя заключается в самостоятельной организации и проведении комплекса физиологических исследований на кафедре нормальной физиологии ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России. Соискатель лично регистрировала реографические показатели в регионе «плечо – предплечье» в покое и на фоне выполнения функциональных проб, проводила биоимпедансометрию, классическую ручную гониометрию плечевого сустава, а также осуществила валидацию разработанной авторской компьютерной программы «Артро-Про». Соискателем самостоятельно выполнены интерпретация, анализ, обобщение и внедрение в практику полученных результатов исследования. Подготовка основных публикаций по теме диссертации, написание текста диссертации и автореферата осуществлены лично А. А. Малякиной. В работах, опубликованных в соавторстве, авторский вклад А. А. Малякиной является основным. Совместно с научным руководителем сформулированы цель, задачи, новизна результатов исследования, основные положения, выносимые на защиту, выводы диссертации и практические рекомендации.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность представленных в работе результатов, научных положений и выводов обусловлена использованием высокоинформативных физиологических методов, репрезентативностью выборки, всесторонним анализом фактического материала и применением адекватных поставленным задачам алгоритмов статистической обработки. Все исследования проведены на сертифицированном оборудовании.

Диссертационная работа апробирована на расширенном заседании Проблемной комиссии «Физиология. Гигиена. Медицинская биология. Микробиология. Медицина и спорт» ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России, протокол № 6 от 26.06.2026.

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на: XII Всероссийском конгрессе общества кистевых хирургов, Волгоград – Нижний Новгород, 2025 г.; Научно-практической конференции для аспирантов и соискателей «Аспирантские чтения», Волгоград, 2024 г.; XVIII Международной научной конференции по вопросам состояния и перспективам развития медицины в спорте высших достижений, Москва, 2023 г.; Десятой научно-практической конференции (ФМБА России), Москва, 2023 г.; XVI Международной научной конференции молодых ученых, Москва, 2023 г.; XII Всероссийском съезде травматологов-ортопедов: Москва – Санкт-Петербург, 2022 г.

Внедрение результатов работы. Авторская программа компьютерной гониометрии «Артро-Про» представлена в методических рекомендациях «Организация мероприятий по профилактике нарушений опорно-двигательного аппарата врачей-косметологов»

(согласовано главным внештатным специалистом по медицинской и лечебной физкультуре комитета здравоохранения Волгоградской области 27.02.2025), «Эксплуатация программного комплекса Joint mobility scanner v. 1.0». Результаты исследований внедрены в тренировочный процесс государственного автономного учреждения дополнительного образования Волгоградской области «Спортивная школа по гандболу «Динамо», в научно-исследовательскую деятельность ФГБОУ ВО ВолГМУ Минздрава России.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (специальность 1.5.5. Физиология человека и животных (медицинские науки), 2 статьи в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и RSCI, 6 зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023667718 РФ «Артро-Про», свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025696161 РФ «Joint Mobility Scanner v.1.0», патент № 2836777 С1 РФ «Способ оценки функционального состояния плечевого сустава», патент № 2845516 С1 РФ «Способ измерения отведения в плечевом суставе с помощью рентгенографии», свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625674 РФ «База данных анализа амплитуды отведения плечевого сустава», свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2026620070 РФ «Анализ функционального состояния плечевого сустава под нагрузкой у спортсменов гандболистов»), 2 методические рекомендации, 3 публикации в сборниках научных трудов и материалах конференций международного и всероссийского уровней.

Структура и объём работы. Диссертационная работа изложена на 175 страницах машинописного текста и включает следующие разделы: введение, обзор литературы, описание материалов и методов, три главы собственных исследований, заключение, выводы, практические рекомендации, список сокращений и список литературы. Работа содержит А, Б, В, Г приложения, иллюстрирована 18 таблицами и 14 рисунками. Список литературы содержит 227 источников, из которых 156 – труды отечественных авторов и 71 – зарубежных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Организация и методы исследования. Исследование проводилось на базе кафедры нормальной физиологии ФГБОУ ВО ВолГМУ Минздрава России. В соответствии с поставленной целью и задачами исследование, включавшее методы физиологического исследования (Таблица 1), состояло из нескольких этапов.

На подготовительном этапе формировался контингент обследуемых [девушки-гандболистки в возрасте $(18,5 \pm 2,5)$ года] и группы (1-ю группу составили действующие спортсменки ($n = 23$); 2-ю группу – завершившие спортивную карьеру ($n = 30$) с проверкой соответствия критериям включения – невключения.

На первом этапе оценивались периферическое кровообращение в регионе «плечо – предплечье» в состоянии оперативного покоя и исходный морфофункциональный профиль, измерялись амплитудные характеристики активных движений в плечевом суставе.

На втором этапе исследовались особенности динамики параметров регионарного кровообращения на фоне функциональных проб (активная ортостатическая проба и статическая нагрузка).

Таблица 1 – Методы физиологического исследования

№	Методы исследования	Показатели
1	Оценка морфофункционального профиля (физического развития)	
	Антропометрия	ДТ (см), МТ (кг) с расчётом ИМТ (кг/м ²), должной МТ (ДМТ, кг), отклонения фактической массы тела от должного значения (%), уровня физического состояния (у.е.)
	Кистевая динамометрия	Сила мышц-сгибателей кисти (кг) с расчётом индекса кистевой силы (ИКС, %) с расчётом уровня 30 % от максимального произвольного усилия (МПУ, кг)
	Биоимпедансометрия	Содержание жира (%), мышечная масса (%), костная масса (%), содержание воды (%), метаболический возраст (лет) с расчётом жировой массы (кг), мышечной массы (кг), безжировой массы (кг), индекса жировой массы (FMI, кг/м ²), индекса безжировой массы (FFMI, кг/м ²), индекса мышечной массы (MMI, кг/м ²), соотношения мышцы/жир (у.е.), Δ возраста (лет)
2	Оценка двигательной функции верхней конечности	
	Классическая ручная гониометрия	Усреднённые амплитуды движений в плечевом суставе (сгибание, разгибание, отведение в градусах)
	Объективная оценка активных движений в плечевом суставе (программа «Артро-Про»)	Построение гониометрограмм с расчётом амплитуд движений в плечевом суставе (сгибание, разгибание, отведение в градусах) в двух вариантах: без прижатия лопаток обследуемого к стене и с прижатием спины обследуемого к стене, а также углов подъёма правого и левого надплечья в градусах
	Рентгенография плечевого сустава	Определение анатомических ориентиров в исходном положении и при максимальном отведении: вертикаль; нижний полюс гленоида; угол отведения в градусах; центр головки лучевой кости, линия, проведённая через нижний полюс гленоида и центр головки лучевой кости
3	Оценка периферического кровообращения верхних конечностей и показателей системной гемодинамики	
	Реовазография	РИ (у.е.), АЧП (у.е.), МУ (%), ДИК (%), ДИА (%), ВО (%)
	Оценка показателей системной гемодинамики	с учётом латеральности верхней конечности: АДС (мм рт.ст.), АДД (мм рт.ст.), ЧСС в мин, АДП (мм рт.ст.), АДср (мм рт.ст.) с расчётом ВИК (у.е.), Q (у.е.), КВссс (у.е.), ДП (у.е.), индекса функционального состояния (у.е.)
4	Функциональные пробы	
	Ортостатическая проба	РИ (у.е.), АЧП (у.е.), МУ (%), ДИК (%), ДИА (%), ВО (%), КСН (у.е.)
	Статическая нагрузка	РИ (у.е.), АЧП (у.е.), МУ (%), ДИК (%), ДИА (%), ВО (%), КСН (у.е.)
5	Статистический анализ	
	IBM SPSS Statistics, версия 26.0	Нормальность распределения исследуемых показателей, параметрические ($M \pm SD$), непараметрические (Me, [Q25–Q75]) методы; уровень значимости $p \leq 0,05$
	Пакет прикладных программ Statgraphics 19	Сравнение двух методов измерения и оценка согласованности между двумя наборами данных (валидация)

Третий этап был посвящён установлению межсистемных связей между показателями периферического кровообращения и амплитудными характеристиками активных движений плечевого сустава, а также включал дополнительное исследование – создание и валидацию методики объективной оценки активных движений в плечевом суставе (программа «Артро-Про») на основе применения искусственных нейронных сетей для видеоанализа движений.

Всего было проведено 523 комплексных физиологических обследования.

Физическое развитие и характеристика периферического кровообращения у девушек-гандболисток в зависимости от спортивной деятельности. Спортивный стаж обследованных гандболисток составлял от 6 до 13 лет, а уровень квалификации – от I разряда (26 %) до КМС (60,9 %) и МС (13,1 %). На момент исследования спортсменки тренировались 6 дней в неделю, преимущественно дважды в день, выполняя технические, тактические, скоростно-силовые и бросковые упражнения со значительной нагрузкой на плечевой пояс.

По данным нашего исследования показатели физического развития у девушек-гандболисток в сравниваемых группах не имели значимых различий и находились в пределах физиологической нормы. При этом у бывших спортсменок выявлено увеличение жировой массы и снижение мышечной, безжировой и костной массы, содержания воды и соотношения мышцы/жир ($p < 0,01$), что согласуется с работами А. И. Табакова с соавт. (2025), К. Krüger и соавт. (2014), I. Mujika и соавт. (2000), подчеркивающими формирование гипотрофии скелетной мускулатуры на фоне прекращения регулярных скоростно-силовых нагрузок и специфических бросковых движений, имеющих в тренировочном процессе профессиональных гандболисток.

По данным классической ручной гониометрии амплитуда движения левого плечевого сустава в обеих группах не выходила за пределы нормы (сгибания и отведения – 180° , разгибания – 40°) при значимом снижении амплитуды в правом плече у действующих спортсменок ($174, 172, 40^\circ$ соответственно). Установлены значимые межгрупповые различия ($p = 0,001$) по ИКС и его превышение относительно нормативных значений у действующих спортсменок, что отражает сохранение скоростно-силового потенциала мышц предплечья и кисти вследствие регулярной специфической тренировочной нагрузки.

Оценка показателей системной гемодинамики у девушек-гандболисток с учётом не только спортивной деятельности, но и функциональной латеральности позволила установить, что АДД на правой руке у спортсменок значимо выше по сравнению с девушками, завершившими спортивную карьеру ($77,0 [72,0; 91,0]; 70,5 [66,0; 80,0]$ мм рт.ст. соответственно; $p = 0,05$). Схожая «картина» сохранялась при анализе АДср справа ($91,0 [86,3; 102,3]; 86,3 [80,3; 94,3]$ мм рт.ст. соответственно, $p = 0,05$). Учитывая, что АДср интегрально отражает соотношение сердечного выброса и периферического сосудистого сопротивления, его снижение у девушек 2-й группы может свидетельствовать о перестройке механизмов кровообращения после прекращения занятий спортом. Следует обратить внимание, что в сравниваемых группах преобладают лица, имеющие сбалансированное взаимодействие между сердечно-сосудистой и дыхательной системами (индекс Хильдебранта $78,3 \% / 83,3 \%$). Однако у $17,4 \%$ девушек – действующих спортсменок преобладающим механизмом в регуляции деятельности кардиореспираторной системы остаётся доминирующая активность симпатического отдела ВНС, у $65,2 \%$ преобладают парасимпатические механизмы активации ВНС, что указывает на снижение физиологической «цены» адаптации организма к регулярным аэробным нагрузкам тренировочного процесса и экономизацию работы ССС. Вышеописанное согласуется с высоким коэффициентом выносливости ССС ($52,2 \%$) в 1-й группе по сравнению с группой девушек, завершивших спортивную карьеру, у которых в $43,3 \%$ случаев отмечалось снижение функциональных резервов и изменение показателей выносливости системы кровообращения после прекращения систематических высокоинтенсивных нагрузок тренировочного процесса.

Сравнительный анализ реографических показателей с возрастной нормой в условиях оперативного покоя позволил установить, что периферическое кровообращение в регионе «плечо – предплечье» у девушек-гандболисток 1-й и 2-й групп в целом характеризуется

повышенной интенсивностью кровенаполнения магистральных артерий за счёт увеличения выброса крови, обусловленного умеренной гипертрофией миокарда спортсменов (показатели РИ оказались выше нормативных значений в среднем на 65 %) (Таблица 2). Наряду с умеренной гипертрофией миокарда у девушек-гандболисток, действующих спортсменок, в области плечевого сустава «ведущей руки» отмечается повышение тонуса артериального русла, обуславливающего способность крупных артерий к растяжению (МУ, %: 13,1 [11,8; 15,9], $p = 0,028$).

Таблица 2 – Показатели периферического кровообращения в регионе «плечо – предплечье» у девушек-гандболисток в зависимости от спортивной деятельности, Ме [Q25; Q75]

Показатель	Группа	Локализация	Левая сторона		Правая сторона	
Реографический индекс, у.е.	1	Плечо	1,11 [0,95; 1,3]	В	1,28 [0,87; 1,81]	В
		Предплечье	1,8 [1,23; 2,46]	В	1,89 [1,41; 2,17]	В
	2	Плечо	1,38 [0,78; 1,97]	В	1,38 [0,87; 1,9]	В
		Предплечье	2,10 [1,56; 2,76]	В	2,06 [1,49; 2,65]	В
Амплитудно-частотный показатель, у.е.	1	Плечо	1,18 [0,91; 1,53]	–	1,39 [0,9; 1,74]	–
		Предплечье	1,77 [1,52; 2,36]	–	1,89 [1,37; 2,07]	–
	2	Плечо	1,31 [0,72; 2,1]	–	1,38 [0,89; 1,7]	–
		Предплечье	2,17 [1,39; 3,1]	–	1,92 [1,39; 2,66]	–
Модуль упругости, %	1	Плечо	12,3 [10,2; 14,9]	N	13,1 [11,8; 15,9], $p = 0,028$	N
		Предплечье	11,7 [10,2; 14,1]	N	11,0 [9,81; 13,1]	N
	2	Плечо	11,8 [8,54; 14,3]	N	11,4 [8,72; 14,03]	N
		Предплечье	10,9 [8,92; 13,1]	N	9,96 [8,17; 11,9]	N
Дикротический индекс, %	1	Плечо	43,2 [33,4; 69,1]	N	41,1 [31,3; 54,5]	N
		Предплечье	30,5 [23,1; 45,7]	H	30,0 [25,47; 44,5]	H
	2	Плечо	42,2 [36,6; 58,6]	N	44,3 [37,3; 46,7]	N
		Предплечье	46,1 [37,8; 57,6]	H	31,0 [26,1; 37,8]	H
Диастолический индекс, %	1	Плечо	48,9 [40,4; 72,7]	N	54,7 [44,7; 62,1]	N
		Предплечье	51,4 [41,8; 62,1]	N	54,9 [40,3; 70,5]	В
	2	Плечо	58,2 [45,3; 65,5]	В	57,5 [48,9; 61,9]	В
		Предплечье	32,4 [24,7; 36,3]	N	52,9 [39,4; 58,5]	N
Венозный отток, %	1	Плечо	8,0 [4,0; 15,0]	N	6,0 [2,0; 19,0]	N
		Предплечье	4,0 [1,0; 8,0]	N	4,0 [2,0; 11,0]	N
	2	Плечо	8,5 [2,0; 16,0]	N	4,0 [2,0; 10,5]	N
		Предплечье	3,0 [1,0; 6,25]	N	3,0 [1,0; 5,25]	N
Коэффициент венозного оттока, %	1	Плечо	88,3 [86,7; 89,5]	–	88,1 [85,7; 90,6]	–
		Предплечье	88,8 [87,2; 90,7]	–	89,16 [86,1; 91,7]	–
	2	Плечо	89,2 [86,3; 90,8]	–	89,2 [86,9; 91,0]	–
		Предплечье	89,8 [86,5; 91,7]	–	90,4 [88,2; 91,9]	–

Примечание: p – значимость различий при межгрупповом сравнении; N – в среднем по группе показатель в пределах нормативных значений; В – в среднем по группе показатель выше нормативных значений; H – в среднем по группе показатель ниже нормативных значений; 1-я – группа девушек-гандболисток, действующих спортсменок, 2-я – группа девушек-гандболисток, завершивших спортивную карьеру.

Вне тренировочного процесса у девушек 2-й группы выявлено снижение сосудистого тонуса на уровне прекапиллярной сети. При этом показатели, характеризующие процесс оттока крови из артерий в вены, и тонус венозных сосудов

находятся ещё в пределах возрастной нормы. Отмечая схожесть «картины» периферического кровоснабжения верхней конечности, следует указать на высокую дисперсию показателя, отражающего суммарное пульсовое кровенаполнение в исследуемом регионе у девушек 2-й группы (РИ, у.е.: плечо – 1,38 [0,78; 1,97], предплечье – 2,10 [1,56; 2,76]) и характеризующего адаптивные реакции, которые обуславливают снижение кровотока в регионе «плечо – предплечье» вследствие отсутствия нагрузок высокой интенсивности. При этом высокая дисперсия показателя, отражающего венозный отток, выявленная в 19 % случаев у девушек 1-й группы, особенно в регионе правой верхней конечности («ведущая рука» ВО, %: плечо – 6,0 [2,0; 19,0]), может свидетельствовать о возможном развитии функционального застоя крови в исследуемых сосудистых областях при интенсивной физической нагрузке.

Динамика периферического кровообращения у девушек-гандболисток в зависимости от спортивной деятельности на фоне выполнения функциональных проб. У действующих спортсменок на фоне активной ортостатической пробы выявлена универсальная реакция: снижение интенсивности артериального кровотока с умеренным ростом периферического сопротивления (Таблица 3). По РИ коэффициент сдвига изменялся справа с -0,72 до -0,26 у.е., слева – с -0,42 до -0,15 у.е. Широкий межквартильный диапазон указывает на разнонаправленность реакций, однако снижение пульсового кровенаполнения носило системный и симметричный характер, что говорит о вероятностной сосудистой реакции, а не о локальной дисрегуляции. Отмечено резкое изменение АЧП в правом сегменте «плечо» по сравнению с левым, что может указывать на скрытые нарушения объёмного кровенаполнения магистральных артерий (Кубарко А. И., Гуринович И. М., 2025). Согласно другому мнению (Николаева Т. М., 2020; Колчина Е. Ю., 2021), у тренирующихся гандболисток при вертикализации формируется ограничение избыточного периферического притока в дистальные отделы верхней конечности – экономически выгодный механизм гемодинамики и рационального перераспределения кровотока.

МУ (%) изменялся разнонаправленно: справа незначительно снижался (КСНМУ = -0,02 у.е.), слева повышался (КСНМУ = +0,17 у.е.), что отражает разную способность крупных артерий к растяжению при одинаковой ЧСС. Отмечено изменение периферического сопротивления и тонуса прекапилляров в предплечье на фоне ортостаза (КСНДИК слева = -0,21; справа = +0,02). Наиболее выраженная реакция венозного оттока выявлена со стороны «ведущей» руки (КСНВО плечо = +0,56; предплечье = +0,48), что отражает адаптивную способность сосудистой системы реагировать на изменение положения конечности в игровой деятельности.

У девушек-гандболисток, завершивших спортивную карьеру, ортостатическая реакция отличалась большей выраженностью и меньшей согласованностью сосудистых механизмов (Рисунок 1). При более высоком исходном РИ его сдвиги при вертикализации были значительнее, что указывает на снижение устойчивости периферического сосудистого русла к гравитационной нагрузке. Разнонаправленные изменения АЧП – повышение в плече и снижение в предплечье – отражали менее согласованное перераспределение кровотока, преимущественно за счёт проксимальных отделов. Отмечаемый прирост на фоне ортостаза показателя, характеризующего способность крупных артерий к растяжению (МУ), который исходно был повышен до 16,83 %, может свидетельствовать о менее экономичном механизме стабилизации периферической гемодинамики в ответ на изменение положения тела.

Таблица 3 – Показатели регионарной гемодинамики «плечо – предплечье» у девушек-гандболисток, действующих спортсменок, на фоне выполнения ортостатической пробы, Me [Q₂₅; Q₇₅]

Показатель/латерализация		Левая сторона		Правая сторона	
		фон	ортостаз	фон	ортостаз
Реографический индекс, у.е.	Плечо	1,11* [0,95–1,3]	0,84 [0,70–1,09]	1,28* [0,87–1,81]	0,79 [0,54–1,09]
	Предплечье	1,8* [1,23–2,46]	1,12 ^{&} [0,82–1,54]	1,89* [1,41–2,17]	1,02 [0,74–1,4]
Амплитудно-частотный показатель, у.е.	Плечо	1,19 [0,91–1,53]	1,21 ^{&} [1,06–1,38]	1,39* [0,9–1,74]	0,96 [0,8–1,51]
	Предплечье	1,77 [1,52–2,36]	1,45 ^{&} [1,2–1,9]	1,89* [1,37–2,07]	1,3 [1,03–1,87]
Модуль упругости, %	Плечо	12,3* [10,2–14,9]	14,4 ^{&} [12,7–16,5]	13,1 [11,8–15,9]	12,8 [10,9–14,5]
	Предплечье	11,7 [10,2–14,1]	12,3 ^{&} [10,4–14,2]	11,0 [9,81–13,1]	10,9 [10,2–13,2]
Дикротический индекс, %	Плечо	43,2* [33,4–69,1]	40,6 [28,4–49,0]	41,1 [31,3–54,5]	38,6 [26,4–49,9]
	Предплечье	30,5 [23,1–45,7]	26,4 [16,7–43,4]	30,0 [25,4–44,5]	31,3 [20,7–52,5]
Диастолический индекс, %	Плечо	48,9* [40,4–72,7]	61,6 [47,4–70,9]	54,7 [44,7–62,1]	68,4 [52,9–85,8]
	Предплечье	51,4 [41,8–62,1]	64,3 [50,1–70,2]	54,9 [40,3–70,5]	66,7 [58,1–78,4]
Венозный отток, %	Плечо	8,0* [4,0–15,0]	9,0 [3,0–27,0]	6,0 [2,0–19,0]	9,0 [5,0–15,0]
	Предплечье	4,0 [1,0–8,0]	5,0 [3,0–17,0]	4,0 [2,0–11,0]	7,0 [2,0–11,0]
Коэффициент венозного оттока, %	Плечо	88,3* [86,7–89,5]	83,7 ^{&} [81,7–86,6]	88,1 [85,7–90,6]	86,9 [82,6–88,5]
	Предплечье	88,8* [87,2–90,7]	86,2 ^{&} [83,9–90,5]	89,16 [86,1–91,7]	88,1 [85,7–90,6]

Примечание: * – значимость различий фоновых показателей относительно показателей, полученных при выполнении ортостатической пробы; & – значимость различий показателей («левосторонние – правосторонние»), полученных при выполнении ортостатической пробы.

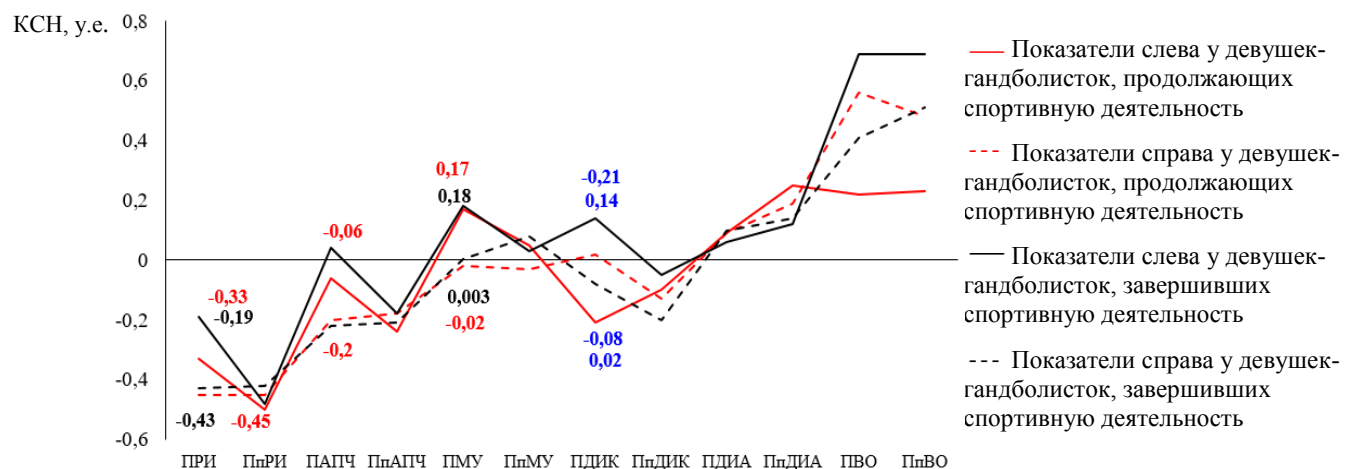


Рисунок 1 – Коэффициенты сдвига на нагрузку «левосторонних – правосторонних» показателей реографии, полученных при выполнении ортостатической пробы: П – плечо, Пп – предплечье; на графике представлены данные показателей значимо различающихся; синий маркер – показатель, имеющий внутри и межгрупповые значимые различия

Анализ ИКС позволил установить более высокие значения у девушек-спортсменок, которые оказались достоверно выше как справа, так и слева (63,4 % [60,5; 65,1] и 56,1 % [53,6; 58,4] соответственно) по сравнению с аналогичными значениями у девушек, завершивших спортивную карьеру (57,7 % [55,6; 58,7] и 50,1 % [48,3; 52,4]; $p = 0,001$), что не могло не найти своего отражения в динамике ответных сосудистых реакций на фоне выполнения статической нагрузки. У девушек 1-й группы выявлены латерально симметричные реакции периферической гемодинамики – физиологически характерное уменьшение притока крови в исследуемый регион «плечо – предплечье» в условиях длительно удерживающего статического мышечного напряжения (Таблица 4).

Таблица 4 – Показатели регионарной гемодинамики в регионе «плечо – предплечье» у девушек-гандболисток, действующих спортсменок, на фоне выполнения статической нагрузки, Me [Q₂₅; Q₇₅]

Показатель/локализация		Левая сторона		Правая сторона	
		фон	нагрузка	фон	нагрузка
Реографический индекс, у.е.	Плечо	1,11* [0,95; 1,3]	0,63 [0,4; 0,93]	1,28* [0,87; 1,81]	0,69 [0,5; 0,99]
	Предплечье	1,8* [1,23; 2,46]	1,3& [0,98; 1,57]	1,89* [1,41; 2,17]	0,89 [0,58; 1,6]
Амплитудно-частотный показатель, у.е.	Плечо	1,18 [0,91; 1,53]	0,98 [0,56; 1,5]	1,39 [0,9; 1,74]	1,14 [0,68; 1,7]
	Предплечье	1,77 [1,52; 2,36]	1,8& [1,5; 2,3]	1,89 [1,37; 2,07]	1,48 [0,85; 2,24]
Модуль упругости, %	Плечо	12,3 [10,2; 14,9]	13,7 [11,3; 17,5]	13,1 [11,8; 15,9]	13,7 [10,2; 17,6]
	Предплечье	11,7* [10,2; 14,1]	16,8& [14,0; 27,8]	11,0* [9,81; 13,1]	14,8 [10,9; 18,9]
Дикротический индекс, %	Плечо	43,2 [33,4; 69,1]	67,3 [30,6; 109,1]	41,1 [31,3; 54,5]	59,6 [32,8; 94,1]
	Предплечье	30,5 [23,1; 45,7]	39,0 [17,8; 74,3]	30,0 [25,47; 44,5]	32,0 [2,5; 61,4]
Диастолический индекс, %	Плечо	48,9* [40,4; 72,7]	74,7 [45,2; 131,2]	54,7 [44,7; 62,1]	83,4 [50,7; 99,4]
	Предплечье	51,4 [41,8; 62,1]	63,3 [47,5; 94,0]	54,9 [40,3; 70,5]	57,8 [33,6; 94,2]
Венозный отток, %	Плечо	8,0* [4,0; 15,0]	16,0 [4,0; 44,0]	6,0* [2,0; 19,0]	27,0 [4,0; 70,0]
	Предплечье	4,0* [1,0; 8,0]	20,0 [11,0; 39,0]	4,0 [2,0; 11,0]	12,0 [3,0; 55,0]
Коэффициент венозного оттока, %	Плечо	88,3 [86,7; 89,5]	87,4 [76,3; 105,2]	88,1 [85,7; 90,6]	85,0 [78,9; 93,9]
	Предплечье	88,8 [87,2; 90,7]	79,3 [76,9; 89,8]	89,16 [86,1; 91,7]	84,4 [79,8; 90,8]

Примечание: * – значимость различий фоновых показателей относительно показателей, полученных при выполнении нагрузочной пробы; & – значимость различий показателей («левосторонние – правосторонние»), полученных при выполнении статической нагрузки.

Наиболее информативным оказался РИ, который у девушек 1-й группы в сегменте «плечо» слева снижался с 1,11 до 0,63 у.е., справа – с 1,28 до 0,69 у.е.; в сегменте «предплечье» слева с 1,80 до 1,30 у.е., справа – с 1,89 до 0,89 у.е. Направленность

выявленных реакций срочной адаптации указывает не на локальный, а на системно реализуемый механизм сосудистого ответа на фоне выполнения статической нагрузки. Это можно объяснить тем, что при выполнении статической нагрузки происходит механическое сдавление вовлечённых в работу мышцами внутриорганных сосудов, обуславливая повышение периферического сопротивления и относительное ограничение артериального притока в регион «плечо – предплечье», что и определило снижение объема кровенаполнения магистральных артерий. При этом выраженность снижения справа, особенно в сегменте «предплечье» значимо выше, чем слева в этом же сегменте, что в целом сохранило общую симметрию адаптационного ответа.

Значимое снижение АЧП справа до 1,48 у.е. относительно такового показателя слева, который практически не изменялся под влиянием нагрузочного воздействия, может указывать на активацию сердечного механизма, в определенной мере компенсирующего тренированность сосудистого русла. Следует обратить внимание на вариабельность ДИК и ДИА индексов, отражающих адаптивные сосудистые реакции на пре- и посткапиллярном уровнях. Симметричный ответ и схожесть направленности изменений – прирост ДИК и ДИА, особенно в сегменте «предплечье», указывают на возрастание сосудистого тонуса и уменьшение эластической податливости сосудистой стенки микроциркуляторного русла в ответ на мышечное напряжение, обусловленное статической работой (Hartog R. et al., 2018; Кубарко А. И., Гуринович И. М., 2025). Отмечаемое повышение ПВО в регионе «плечо – предплечье» при сохранении относительной стабильности коэффициента венозного оттока в сегменте «плечо» и снижении в сегменте «предплечье» с 88,8 до 79,3 % слева и с 89,16 до 84,4 % справа подтверждает, что длительное статическое мышечное напряжение сопровождается затруднением венозного оттока, особенно в дистальных отделах верхней конечности, мышцы которой непосредственно организуют изометрическое сокращение.

Сравнительный анализ динамики реографических показателей во 2-й группе позволил выявить схожесть «картины» сосудистого ответа с таковым в 1-й группе. Однако степень проявления срочных реакций адаптации на фоне выполнения статической нагрузки у гандболисток, завершивших спортивную карьеру, была несколько ниже и отражала физиологический вазомоторный ответ на изометрическое сокращение. При этом справа выявленные значимые различия фоновых показателей относительно полученных после выполнения нагрузочной пробы, могут быть обусловлены как доминированием правой руки, так и остаточным эффектом (долговременным следом) спортивной специализации (Таблица 5).

Следует отметить, что у девушек-гандболисток, завершивших спортивную карьеру, прирост ДИК в сегменте «предплечье» выражен сильнее по сравнению с таковым у действующих спортсменок, что может указывать на снижение со временем функциональной устойчивости микроциркуляторного русла к статическому усилию после прекращения спортивной карьеры. ПВО у девушек 2-й группы значимо увеличивался на фоне нагрузочного воздействия слева и справа в сегменте «предплечье» с 4,0 до 15,0 % и с 4,0 до 16,0 %, а коэффициент венозного оттока – уменьшался с 88,8 до 82,78 % и с 89,16 до 85,36 % соответственно. С одной стороны, характер изменений ответных сосудистых реакций, как и в группе девушек-спортсменок, указывает на ухудшение условий венозного оттока при статическом напряжении, с другой, в контексте завершения спортивной деятельности девушками второй группы – на меньшую компенсаторную реакцию при сосудистой функциональной перестройке.

Таблица 5 – Показатели регионарной гемодинамики в регионе «плечо – предплечье» у девушек-гандболисток, прекративших свою спортивную деятельность, на фоне выполнения статической нагрузки, Me [Q₂₅; Q₇₅]

Показатель / локализация		Левая сторона		Правая сторона	
		фон	нагрузка	фон	нагрузка
Реографический индекс, у.е.	Плечо	1,11 [0,95; 1,3]	0,85 [0,55; 1,66]	1,28 * [0,87; 1,81]	0,93 [0,63; 1,49]
	Предплечье	1,8 [1,23; 2,46]	1,6 [1,1; 1,97]	1,89 * [1,41; 2,17]	1,29 [0,95; 1,7]
Амплитудно-частотный показатель, у.е	Плечо	1,18 [0,91; 1,53]	1,26 [0,77; 2,85]	1,39 [0,9; 1,74]	1,37 [0,88; 1,87]
	Предплечье	1,77 [1,52; 2,36]	2,03 [1,57; 2,94]	1,89 [1,37; 2,07]	1,76 [1,54; 2,22]
Модуль упругости, %	Плечо	12,3 * [10,2; 14,9]	15,5 [9,54; 18,7]	13,1 [11,8; 15,9]	11,9 [10,3; 13,7]
	Предплечье	11,7 * [10,2; 14,1]	14,9 [12,5; 18,8]	11,0 * [9,81; 13,1]	14,07 [11,08; 19,2]
Дикротический индекс, %	Плечо	43,2 [33,4; 69,1]	52,9 [41,75; 76,0]	41,1 * [31,3; 54,5]	55,25 [40,1; 88,1]
	Предплечье	30,5 * [23,1; 45,7]	53,5 [44,8; 61,6]	30,0 * [25,47; 44,5]	57,78 [20,24; 72,7]
Диастолический индекс, %	Плечо	48,9 [40,4; 72,7]	68,4 [49,6; 84,5]	54,7 [44,7; 62,1]	66,7 [48,1; 104,8]
	Предплечье	51,4 * [41,8; 62,1]	64,0 [50,13; 76,45]	54,9 [40,3; 70,5]	60,24 [48,74; 82,43]
Венозный отток, %	Плечо	8,0 [4,0; 15,0]	22,0 [6,0; 36,0]	6,0 * [2,0; 19,0]	24,0 [5,0; 43,0]
	Предплечье	4,0* [1,0; 8,0]	15,0 [7,0; 26,0]	4,0 * [2,0; 11,0]	16,0 [6,0; 39,0]
Коэффициент венозного оттока, %	Плечо	88,3 [86,7; 89,5]	84,67 [82,21; 91,37]	88,1 [85,7; 90,6]	85,65 [81,27; 91,73]
	Предплечье	88,8 * [87,2; 90,7]	82,78 [79,5; 89,7]	89,16 * [86,1; 91,7]	85,36 [80,2; 89,4]
Примечание: * – значимость различий фоновых показателей относительно показателей, полученных при выполнении нагрузочной пробы; & – значимость различий показателей («левосторонние – правосторонние»), полученных при выполнении статической нагрузки.					

Корреляционный анализ позволил выявить значимую сопряжённость между показателями периферического кровообращения (фон, нагрузочные пробы) и амплитудными характеристиками активных движений плечевого сустава у девушек-гандболисток в зависимости от спортивной деятельности (Рисунок 2, 3).

1. По силе и направленности корреляционных связей. У действующих спортсменок КСН реографических показателей преимущественно положительно коррелировали с амплитудой отведения плеча с обеих сторон, отражая более сохранную сосудисто-двигательную адаптацию к физическим нагрузкам тренировочного процесса. У гандболисток второй группы преобладали обратные связи КСН с амплитудами сгибания и отведения. Снижение взаимообусловленности между двигательным и сосудистым компонентами, прежде всего, по переменным венозного возврата крови, свидетельствует о формировании начала дезадаптивных изменений на фоне отсутствия регулярных спортивных нагрузок.

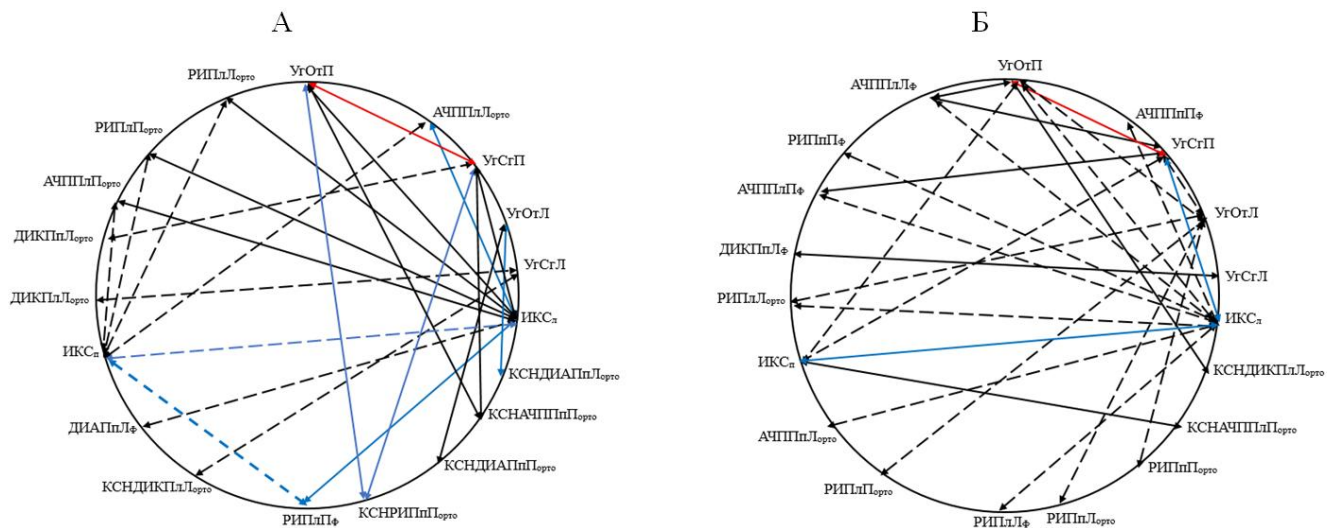


Рисунок 2 – Значимые корреляции между показателями периферического кровообращения (фон, ортостатическая проба) и амплитудными характеристиками активных движений плечевого сустава у девушек-гандболисток, действующих спортсменок (А) и завершивших свою спортивную карьеру (Б) (слабые корреляционные связи отмечены синим цветом; средние – черным и сильные – красным; прямые – сплошная линия, обратные – пунктирная линия)

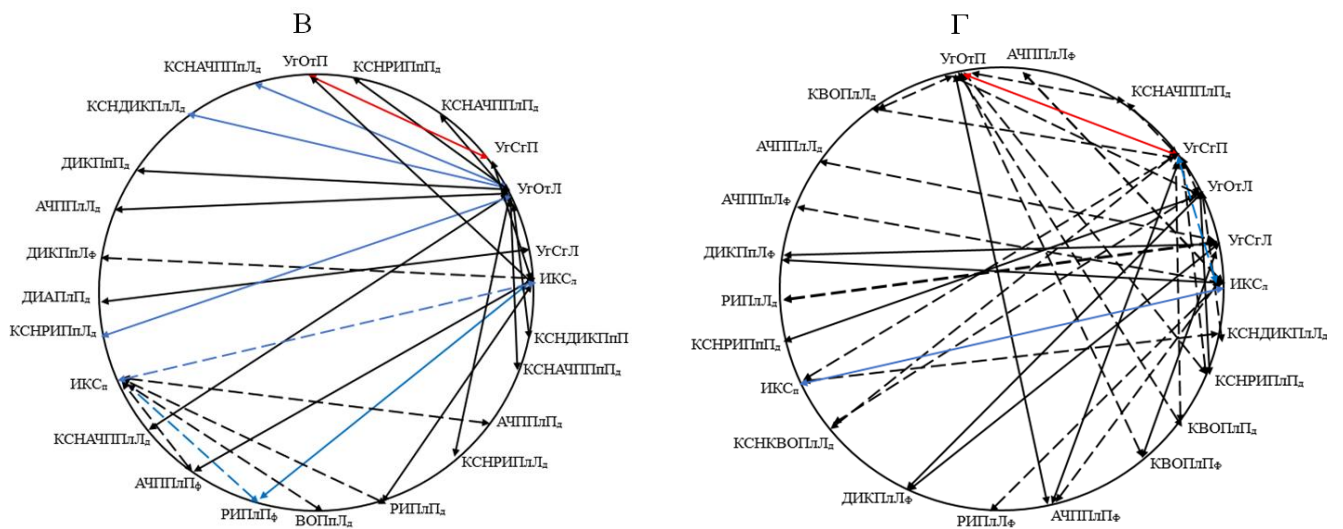


Рисунок 3 – Значимые корреляции между показателями периферического кровообращения (фон, статическая нагрузка) и амплитудными характеристиками активных движений плечевого сустава у девушек-гандболисток, действующих спортсменок (В) и завершивших свою спортивную карьеру (Г) (слабые корреляционные связи отмечены синим цветом; средние – черным и сильные – красным; прямые – сплошная линия, обратные – пунктирная линия)

2. По роли силовых характеристик двигательного паттерна. У действующих спортсменок связи индекса кистевой силы с гониометрическими показателями носили неоднозначный и асимметричный характер. Во второй группе обратные корреляции индекса кистевой силы с амплитудами движений в плечевом суставе указывали на сочетание снижения его мобильности и силовых возможностей, характерное для детренированности.

3. По локализации и симметричности корреляционных взаимосвязей. У гандболисток, завершивших спортивную карьеру, взаимосвязи преимущественно определялись между показателями предплечья и параметрами венозного оттока, что может отражать функциональную перестройку верхней конечности в целом. У действующих спортсменок ведущая роль сохранялась за плечевым сегментом.

Создание и валидация программы объективной оценки активных движений в плечевом суставе (программа «Артро-Про»). Методологической основой программы является видеоанализ теста «Дуга Дауборна» с последующей оценкой биомеханики отведения плеча во фронтальной плоскости и построением гониометрограмм угловых параметров движения. Важным диагностическим преимуществом программы является возможность одновременной оценки угловой амплитуды отведения плеча и угловой амплитуды подъёма плечевого пояса, что позволяет выявлять ранние компенсаторные нарушения плече-лопаточного ритма. Использование двух вариантов выполнения теста – без фиксации лопаток и с фиксацией лопаток (прижатие тела обследуемого к стене) – повышает точность оценки функции собственно плечевого сустава и уменьшает вероятность маскировки нарушений за счёт лопаточных компенсаций.

ВЫВОДЫ

1. У девушек-гандболисток (спортсменок) по сравнению с девушками, завершившими спортивную карьеру, выявлены статистически значимые различия в компонентном составе тела: содержание жира ниже (19,2% относительно 26,4 %; $p = 0,005$), мышечная масса выше (50,2 % относительно 45,55 %; $p = 0,001$), безжировая масса больше (52,8 кг относительно 46,7 кг; $p = 0,001$), а соотношение мышцы/жир выше (2,67 у.е. относительно 1,95 у.е.; $p = 0,001$). Индексы кистевой силы у действующих спортсменок превышают нормативные значения и значимо выше, чем у завершивших карьеру (справа: 63,4 % относительно 57,7 %, $p = 0,001$; слева: 56,1 % относительно 50,1 %, $p = 0,001$). При этом у действующих спортсменок выявлено ограничение амплитуды активных движений в правом (ведущем бросковом) плечевом суставе (угол сгибания – 174° против 176° во 2-й группе; угол отведения – 172° против 174° соответственно) при сохранении нормальных показателей с левой стороны (180°), что отражает специфическую адаптацию к тренировочным нагрузкам, в то время как у завершивших карьеру данные показатели демонстрируют обратную динамику, свидетельствуя о процессах детренированности.

2. У девушек-гандболисток системная гемодинамика характеризуется относительной стабильностью как на этапе активной спортивной деятельности, так и после её завершения, с преобладанием у действующих спортсменок парасимпатической регуляции в 65,2 % случаев и экономизацией работы сердца (высокий коэффициент выносливости сердечно-сосудистой системы в 52,2 % случаев). Выявленное у девушек-гандболисток (спортсменок) значимое повышение диастолического давления на правой руке (77,0 мм рт. ст. [72,0; 91,0] относительно слева 70,5 мм рт. ст. [66,0; 80,0], $p = 0,05$) и среднего гемодинамического давления (91,0 мм рт. ст. [86,3; 102,3] относительно слева 86,3 мм рт. ст. [80,3; 94,3], $p = 0,05$) отражает локальную сосудистую адаптацию к бросковым нагрузкам.

3. Установлена выраженная локальная специфика периферического кровообращения верхних конечностей в состоянии оперативного покоя у девушек-спортсменок на стороне ведущей руки: повышение тонуса крупных артерий (модуль упругости – 13,1 % [11,8; 15,9] относительно 11,4 % [8,72; 14,03] у завершивших спортивную карьеру, $p = 0,028$), снижение тонуса прекапиллярного русла (дикротический индекс в сегменте «предплечье» – 30,0 % [25,47; 44,5] при норме 35–45 %) и признаки функционального венозного застоя (венозный отток в сегменте «плечо» справа – 6,0 % [2,0; 19,0]), что отражает гетерогенность сосудистых адаптаций. В группе девушек-гандболисток, завершивших карьеру, локальные изменения регрессируют, проявляясь в снижении кровотока (реографический индекс слева в сегменте

«предплечье» – 2,10 у.е. [1,56; 2,76] относительно 1,80 у.е. [1,23; 2,46] у действующих спортсменок; справа 2,06 у.е. [1,49; 2,65] относительно 1,28 у.е. [0,87; 1,81] у действующих спортсменок) и обуславливая процессы детренированности. Таким образом, центральные регуляторные механизмы кровообращения остаются устойчивыми в постспортивном периоде, тогда как периферические сосудистые перестройки, связанные с доминирующей рукой, являются наиболее лабильными и первыми утрачиваются при прекращении систематических спортивных нагрузок.

4. Установлена латеральная типология срочных адаптивных реакций периферического кровообращения в регионе «плечо – предплечье». У действующих спортсменок на фоне ортостатической пробы формируется совершенный тип сосудистой регуляции с согласованным снижением пульсового кровенаполнения (коэффициент сдвига на нагрузку по реографическому индексу: от -0,72 до -0,26 у.е. справа и от -0,42 до -0,15 у.е. слева) и отрицательной направленностью сдвига по дикротическому индексу ($KCH = -0,21$; $[-0,63; -0,22]$), отражающей уменьшение выраженности отражённой волны, что свидетельствует о благоприятной сосудистой реакции. У завершивших спортивную карьеру выявлен дезадаптивный тип с сегментарно неоднородной реактивностью (положительная направленность сдвига по дикротическому индексу – $KCH = 0,14$; $[-0,09; 0,32]$, избыточный рост модуля упругости до 16,83% в 18,2% случаев, снижение коэффициента венозного оттока с 89,3 до 86,15% в сегменте «плечо» слева), что указывает на напряжённость регуляторных механизмов, менее экономичную стабилизацию периферической гемодинамики и повышение физиологической «цены» регуляторных механизмов.

5. Выявлена межсистемная сопряженность между показателями периферического кровообращения и амплитудными характеристиками активных движений плечевого сустава. У действующих спортсменок преобладают положительные корреляционные связи коэффициентов сдвига на статическую нагрузку с амплитудой отведения (KCH по РИ: $r = 0,449$; $p = 0,032$; KCH по АЧП: $r = 0,433$; $p = 0,039$; KCH по ДИК: $r = 0,518$; $p = 0,016$ в сегменте «плечо» слева), что отражает сохранную сосудисто-двигательную адаптацию. У завершивших спортивную карьеру доминируют обратные корреляционные связи (KCH по КВО с амплитудой сгибания справа: $r = -0,430$; $p = 0,020$; KCH по РИ справа с амплитудой отведения справа: $r = -0,412$; $p = 0,026$), свидетельствующие о снижении сопряженности между двигательным и сосудистым компонентами, особенно в части переменных, характеризующих венозный возврат крови, что подтверждает развитие дезадаптивных изменений на фоне прекращения регулярных спортивных тренировок.

6. Созданная программа компьютерной гониометрии «Артро-Про» на основе искусственных нейронных сетей обуславливает объективную диагностику активных движений в плечевом суставе. Сравнительный анализ с классической ручной гониометрией показал отсутствие систематической ошибки (средняя разница $-0,62 \pm 0,63^\circ$, 95% пределы согласия от -4,11 до 2,87), что подтверждает возможность взаимозаменяемого использования методов и высокую воспроизводимость результатов. Использование «Артро-Про» в двух тестовых вариантах (без фиксации лопаток и с фиксацией) повышает точность оценки функции собственно плечевого сустава, уменьшает вероятность маскировки функциональных нарушений за счет лопаточных компенсаций и может быть рекомендовано для скрининговой диагностики и мониторинга функционального состояния плечевого сустава у спортсменов и лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата, обеспечивая регистрацию минимальных латеральных различий и цифровое хранение динамики гониометрических данных.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Выявленная взаимосвязь между амплитудными характеристиками активных движений в плечевом суставе и показателями периферической гемодинамики в регионе «плечо – предплечье» в покое и на фоне функциональных проб позволяет рекомендовать включение реовазографии в сочетании с объективной гониометрией компьютерной программой «Артро-Про» в систему контроля функционального состояния организма спортсменов для своевременного выявления функциональных нарушений, оценки адаптационных резервов и индивидуализации тренировочных нагрузок.

2. Созданная программа компьютерной гониометрии «Артро-Про» на основе искусственных нейронных сетей повышает чувствительность диагностики к ранним донозологическим нарушениям плечевого сустава по сравнению с классической ручной гониометрией и может быть рекомендована врачам по спортивной медицине, врачам ЛФК и тренерам в качестве неинвазивного скринингового средства объективной количественной оценки активных движений в плечевом суставе, позволяющего регистрировать минимальные латеральные различия, анализировать плече-лопаточный ритм и отслеживать индивидуальную динамику двигательных паттернов в процессе тренировочного цикла и восстановительных мероприятий.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Дальнейшая разработка темы предполагает углублённое изучение физиологических механизмов восстановления регионарного кровообращения, нейромышечной функции и амплитудных характеристик движений плечевого сустава у спортсменов бросковых видов спорта на разных этапах тренировочного цикла, после травм и при завершении карьеры с целью создания персонифицированных программ сопровождения в спортивной практике. Приоритетным направлением остаётся расширенная клинико-физиологическая валидация и внедрение программы компьютерной гониометрии «Артро-Про» в диагностику дисфункциональных двигательных паттернов, а также интеграция её данных с показателями реовазографии, биоимпедансометрии и системной гемодинамики для разработки цифровых скрининговых систем объективного контроля различных функциональных нарушений у спортсменов и лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В печатных изданиях, рекомендованных ВАК

при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации

1. **Малякина, А. А.** Характеристика периферического кровообращения верхних конечностей у девушек-гандболисток / А. А. Малякина, Г. А. Севрюкова // **Современные вопросы биомедицины.** – 2025. – Т. 9, № S1(35). – DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_S1_6.

2. **Малякина, А. А.** Особенности регионарной гемодинамики у девушек-гандболисток на фоне выполнения ортостатической пробы / А. А. Малякина, Г. А. Севрюкова // **Вестник Уральской медицинской академической науки.** – 2026. – Т. 23, № 1. – С. 166–173. – DOI: 10.22138/2500-0918-2026-23-1-166-173.

Результаты интеллектуальной деятельности

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023667718 Российская Федерация. Артро-Про: № 2023666995: заявл. 07.08.2023: опубл. 17.08.2023 / **А. А. Малякина** [и др.].

4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625674 Российская Федерация. База данных анализа амплитуды отведения плечевого сустава: № 2024625477: заявл. 19.11.2024: опубл. 03.12.2024 / **А. А. Малякина** [и др.].

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025696161 Российская Федерация. Joint Mobility Scanner v.1.0: заявл. 07.11.2025: опубл. 16.12.2025 / С. А. Демкин, **А. А. Малякина**.

6. Патент № 2845516 С1 Российская Федерация, МПК А61В 5/11, А61В 6/02. Способ измерения отведения в плечевом суставе с помощью рентгенографии: заявл. 02.12.2024: опубл. 21.08.2025 / **А. А. Малякина** [и др.].

7. Патент № 2836777 С1 Российская Федерация, МПК А61В 5/103, G16Н 30/40, G06Т 3/00. Способ оценки функционального состояния плечевого сустава: заявл. 05.03.2024: опубл. 21.03.2025 / **А. А. Малякина** [и др.].

8. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2026620070 Российская Федерация. Анализ функционального состояния плечевого сустава под нагрузкой у спортсменов гандболистов: заявл. 05.11.2025: опубл. 13.01.2026 / **А. А. Малякина** [и др.]

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АДД – артериальное диастолическое давление

АДП – пульсовое давление

АДср – среднее гемодинамическое артериальное давление

АДС – артериальное систолическое давление

АЧП – амплитудно-частотный показатель

ВНС – вегетативная нервная система

ВИК – вегетативный индекс Кердо

ВО – венозный отток

ДИА – диастолический индекс

ДИК – дикротический индекс

ДМТ – должная масса тела

ДП – двойное произведение

ДТ – длина тела

ИКС – индекс кистевой силы

ИМТ – индекс массы тела

ИФС – индекс функционального состояния

КВО – коэффициент венозного оттока

КВссс – коэффициент выносливости ССС

КСН – коэффициент сдвига на нагрузку

КГ – классическая гониометрия

МПУ – максимальное произвольное усилие

МТ – масса тела

МУ – модуль упругости

РИ – реографический индекс

УФС – уровень физического состояния

ЧД – частота дыхания

ЧСС – частота сердечных сокращений

ВИА – биоэлектрический импедансный анализ

FFMI – индекс безжировой массы тела

FMI – индекс жировой массы

MMI – индекс мышечной массы

Научное издание

Малякина Анастасия Александровна

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ПЛЕЧЕВОГО СУСТАВА
У ДЕВУШЕК-ГАНДБОЛИСТОК
ПРИ АДАПТАЦИИ К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ
ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА

1.5.5. Физиология человека и животных

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Подписано в печать 01.10.2026.

Формат 60×84/16. Печать цифровая. Бумага обычная.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 252/2026.

Редакционно-издательская подготовка и печать:

Библиотечно-издательский центр ВолГМУ
400006, г. Волгоград, ул. Дзержинского, д. 45

Тел.: (8442) 74-01-73