

УДК 796.015.62:615.825

Методологические аспекты спортивной ориентации и контроля физической нагрузки в процессе реабилитации лиц с ампутацией конечностей

Шевцов А. В., Коломиец О. И. *

Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена
г. Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-9878-3378, sportmedi@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4623-856X, kolomiec_o@mail.ru *

Аннотация. Ампутация конечности вызывает изменения биомеханики и метаболизма: энерготраты при ходьбе на протезе увеличивается на 60–70 %, ОЦК уменьшается на 7–19,3%. Эффективность спорта зависит от корректного выбора дисциплины спорта и дозирования нагрузок. Цель — систематизировать методологические аспекты спортивной ориентации, дозирования и контроля физической нагрузки в процессе реабилитации лиц с ампутацией конечностей. Материалы и методы. Систематический обзор публикаций (2000–2025), с метаанализом и клиникой. **Методы:** велоэргометрия, оценка культуры, шкала Борга и ВАШ, биомеханика асимметрии, интервальная и ступенчатая тренировки. Результаты. Обоснована трёхуровневая модель спортивной классификации (анатомо-морфологический, функционально-двигательный и нозологический критерии). Разработан алгоритм выбора по трем векторам мотивации (медико-биологический, социально-психологический, спортивно-достиженческий). Доказана невалидность стандартных формул расчёта ЧСС для ампутантов; предложена модифицированная шкала RPE с тремя режимами (базовый, развивающий, субмаксимальный). протоколы контроля локального статуса культуры (гиперемия, отёчность, боль) и межконечной асимметрии (порог 20 %). **Заключение.** Предложенный методологический подход обеспечивает безопасно и эффективно интегрировать лиц с ампутациями в адаптивный спорт, обеспечивая персонализированное дозирование нагрузок, постоянный мониторинг и поэтапное восстановление двигательных функций. Рекомендуемый режим — 1–3 занятия в неделю по 20–60 минут с сочетанием аэробных, силовых и проприоцептивных упражнений. **Теоретическая значимость:** интеграция биомеханики, классификации, физиологии. Приоритет статуса культуры над кардио-невалидностью ЧСС, предложена альтернативная оценка по шкале RPE. Разработана трехкомпонентная мотивационная модель. **Практическая значимость:** предложены алгоритм выбора спортивной дисциплины, и дифференцированные режимы (интервалы 1:3, 1:2, снижение при отёке), протоколы мониторинга (пальпация культуры, шкала RPE, дневник).

Ключевые слова: адаптивная физическая реабилитация, ампутации конечностей, спортивная ориентация, контроль физической нагрузки, проприоцептивная тренировка.

Для цитирования: Шевцов А. В., Коломиец О. И. * Методологические аспекты спортивной ориентации и контроля физической нагрузки в процессе реабилитации лиц с ампутацией конечностей. Педагогико - психологические и медико - биологические проблемы физической культуры и спорта. 2026 ; 21 (3) : 372 - 381.

Methodological Aspects of Sports Orientation and Physical Load Monitoring in the Rehabilitation of Individuals with Limb Amputations

Anatoliy V. Shevtsov, Olga I. Kolomiets *

A.I. Herzen State Pedagogical University of Russia

Saint Petersburg, Russia

0000-0002-9878-3378, sportmedi@mail.ru

0000-0003-4623-856X, Kolomiec_o@mail.ru *

Abstract. Limb amputation causes changes in biomechanics and metabolism: energy expenditure during walking with a prosthesis increases by 60–70%, and circulating blood volume decreases by 7–19.3%. The effectiveness of sports depends on the correct choice of sports discipline and exercise dosage. The aim is to systematize the methodological aspects of sports orientation, dosing, and monitoring of physical load during the rehabilitation of persons with limb amputations. **Materials and Methods.** A systematic review of publications (2000–2025) with meta-analysis and clinical studies. Methods included cycle ergometry, stump assessment, Borg scale and VAS, biomechanical asymmetry analysis, interval and step training. **Results.** A three-level model of sports classification (anatomical-morphological, functional-motor, and nosological criteria) is substantiated. An algorithm for selection based on three motivation vectors (medico-biological, socio-psychological, sports-achievement) was developed. The invalidity of standard heart rate formulas for amputees is proven; a modified RPE scale with three modes (basic, developing, submaximal) is proposed. Protocols for monitoring local stump status (hyperemia, edema, pain) and inter-limb asymmetry (threshold 20%) are presented. **Conclusion.** The proposed methodological approach ensures safe and effective integration of persons with amputations into adaptive sports, providing personalized dosing of loads, continuous monitoring, and step-by-step restoration of motor functions. The recommended regimen is 1–3 sessions per week of 20–60 minutes, combining aerobic, strength, and proprioceptive exercises. **Theoretical significance:** integration of biomechanics, classification, physiology. Priority of stump status over cardio, invalidity of heart rate, alternative assessment using RPE scale is proposed. A three-component motivational model is developed. **Practical significance:** an algorithm for choosing a sports discipline and differentiated modes (intervals 1:3, 1:2, reduction in case of edema), monitoring protocols (stump palpation, RPE scale, diary).

Keywords: adaptive physical rehabilitation, limb amputations, sports orientation, physical load control, proprioceptive training.

For citation: Anatoliy V. Shevtsov, Olga I. Kolomiets. Methodological aspects of sports orientation and physical load control in the rehabilitation of amputees. Russian Journal of Physical Education and Sport. 2026; 21 (3) : 372 - 381.

Введение

Ампутация конечности существенно изменяет биомеханику движений, энергетический обмен и функциональные возможности организма. Ходьба на протезе требует на 60–70 % больше энергии по сравнению со здоровыми людьми [1, 2], а объем циркулирующей крови может снижаться от 7,0 % при ампутации на уровне голени, до 19,3 % при двусторонних ампутациях на уровне бедер [3]. В то же время участие в спортивной деятельности приносит лицам с ампутациями выраженную физическую и психологическую пользу. [4, 5, 6]. Однако эффективность и безопасность тренировок напрямую зависят от правильного выбора вида спорта и адекватного дозирования нагрузок [7, 8].

Медицинская оценка и готовность к тренировкам. Перед тренировками необходима медицинская оценка врача-реабилитолога: состояние культи (целостность кожных покровов, наличие потертостей, отеков, болевых ощущений); оценку опорно-двигательного аппарата (амплитуда движений в сохранившихся суставах, сила мышц культи и здоровой конечности, состояние позвоночника); оценку функциональных возможностей (анализ походки, выносливость, баланс, чувства положения тела в пространстве). Особое внимание уделяют сердечно-сосудистой системе: у лиц с ампутациями нагрузка на сердце выше, чем у здоровых. [9].

Исследования Bouzas с соавт. (2021) показали, что комбинированные упражнения на мышечную выносливость и функциональную физическую активность оказывают наибольший положительный эффект на кардиореспираторную выносливость, мышечную силу и функциональные возможности у взрослых пользователей протезов с односторонней ампутацией [10].

В паралимпийском спорте классификация разделяет спортсменов по функциональным возможностям для обеспечения честной конкуренции. Понимание своей классификационной группы необходимо для правильного выбора дисциплины.

Дифференциация участников в паралимпийском движении (ИРС) базируется на трех фундаментальных критериях, обеспечивающих соблюдение принципа честной конкуренции (fair play) посредством минимизации влияния степени выраженности дефекта на спортивный результат. Первым базовым уровнем выступает анатомо-морфологический критерий, фиксирующий тип, полноту и локализацию поражения (в частности, ампутации конечностей с дифференциацией по уровням — выше или ниже локтевого/коленного суставов). Второй уровень представлен функционально-двигательным критери-

ем, определяющим реальные биомеханические возможности атлета в контексте конкретной локомоции; классическим примером служит горнолыжный спорт, где категории LW1–9 объединяют стоячих спортсменов, а LW10–12 — сидячих спортсменов-колясочников. Высшим уровнем систематизации является нозологическая спецификация вида спорта, учитывающая узкопрофильную биомеханику конкретной дисциплины. В качестве примера подобной адаптации выступает паратхэквондо, где класс K41 строго регламентирует допуск спортсменов с двусторонней ампутацией верхних конечностей выше плечевого сустава. Данная трехкомпонентная модель позволяет объективно верифицировать функциональный статус атлета и сформировать гомогенные соревновательные группы [11].

Правильная классификация позволяет не только участвовать в соревнованиях, но и выстраивать адекватный тренировочный процесс с учетом функциональных ограничений.

Алгоритм выбора дисциплины адаптивного спорта. Выбор спорта строится на балансе между физическими возможностями, медицинских рекомендаций и личных предпочтений. Процесс подбора включает три взаимосвязанных вектора. Медико-биологический направлен на восстановление движений, компенсацию дефицита, укрепление мышц и проприоцепцию. Социально-психологический помогает преодолеть психоэмоциональные проблемы через инклюзию и принцип «равный – равному». Поиск референтных групп и получение взаимной психологической поддержки, что выступает предиктором успешной интеграции лица с инвалидностью в макросоциум. Спортивно-достиженческий ориентирован на реализацию потенциала в паралимпийском спорте, соревнования и рекорды – как форма самоактуализации.

Системный качественный и количественный анализ ответов респондента по указанной триаде критериев позволяет специалисту прецизионно сбалансировать траекторию занятий, обеспечивая контролируемый переход от базовых терапевтических методик лечебной физкультуры к инклюзивной рекреации либо к профессиональному параспорту.

Дифференциация рекомендуемых направлений адаптивной спортивной деятельности с учетом нозологических критериев. Распределение спортивных дисциплин ампутантов строится на патогенетической обоснованности, доступности и этапности. На первичном этапе для начинающих и ранней адаптации — плавание, ЛФК, адаптивный фитнес. При ампутации ног биомеханически оправданы бег с протезами-лезвиями, велоспорт и футбол на костылях.

При ампутации рук требуются альтернативные паттерны: плавание, паратхэквондо, стрельба из лука, самбо [11]. В сегменте зимних видов спорта реабилитационный потенциал аккумулируют горнолыжный спорт, предполагающий передвижение на одной лыже с применением аутригеров, следж-хоккей и кёрлинг на колясках [12, 13, 14]. Командно-игровые и специализированные колясочные дисциплины представлены баскетболом на колясках, волейболом сидя и теннисом на колясках, которые обеспечивают не только соматический, но и выраженный ресоциализирующий эффект [15, 16].

Интеграция указанных нозологических групп в регулярную тренировочную деятельность патогенетически обоснована: так, систематический обзор Braga и соавторов (2011) репрезентативно подтверждает, что лица с ампутациями конечностей получают выраженную соматическую и психологическую пользу от вовлечения в целенаправленную спортивную активность [4, 5, 17].

Дозирование и индивидуализация тренировочных нагрузок в процессе физической реабилитации лиц с ампутационными дефектами конечностей. Разработка и реализация программ физической реабилитации для лиц, перенесших ампутацию конечностей требуют специфических методических подходов, отличных от классических стандартов спортивной тренировки здоровых индивидов. Обусловлено это выраженной асимметрией тела, компенсаторной перестройкой локомоторного аппарата и существенно повышенными энергозатратами при выполнении стандартных циклических и ациклических движений [18, 19].

В основе построения тренировочного процесса в адаптивном спорте лежит фундаментальный патогенетический принцип преимущественной ориентации на текущее локальное состояние культы при вторичном учете системного кардиореспираторного ответа [20].

Диагностические индикаторы локального статуса культы как лимитирующий фактор тренировочного процесса. Важнейшим критерием регулирования объема и интенсивности выполняемых упражнений выступает объективная оценка состояния усеченной конечности. Немедленная редукция или полное прекращение физической нагрузки детерминируются рядом специфических клинических проявлений:

- локальная гиперемия и микротравматизация кожных покровов: сигнализируют о критическом уровне трения и деформации тканей в приемной полости протеза, что ассоциировано с высоким риском инфекционных осложнений и последующей манифестацией стойкого дефекта

протезирования.

- тканевая отечность: патологическое увеличение объема культы детерминирует нарушение конгруэнтности и анатомически правильной посадки гильзы протеза, провоцируя вторичную ишемизацию и компрессию нервно-сосудистых пучков.

Интенсификация фантомно-болевого синдрома: нарастание ноцицептивной импульсации непосредственно во время выполнения двигательного акта указывает на неадекватность механического стимула и срыв компенсаторных механизмов нервно-мышечного аппарата [21].

Обязательным элементом методического протокола является двукратный визуально-пальпаторный мониторинг состояния усеченной конечности (до начала и по окончании тренировочного занятия). Верификация экссудативных процессов и увеличение объема тканей культы в пределах 5–10% служит абсолютным показателем для снижения интенсивности последующей тренировочной сессии на 30–50%. С целью интенсификации процессов постнагрузочной регенерации и оптимизации лимфооттока патогенетически обосновано применение поливекторной вибротерапии, способствующей расширению адаптационного ресурса мягких тканей к воздействию высокоинтенсивных тренировочных режимов.

Субъективное шкалирование и объективные маркеры интенсивности физических нагрузок. Традиционные математические модели расчета целевой частоты сердечных сокращений (в частности, формула Хаскелла - Фокса: $(220 - \text{возраст})$) демонстрируют низкую валидность в контингенте лиц с ампутационными дефектами вследствие глубокой перестройки центральной и периферической гемодинамики, а также изменения объема циркулирующей крови. В качестве альтернативного инструмента оперативного контроля рекомендуется интеграция Шкалы воспринимаемого напряжения Борга (RPE, модифицированная 10-балльная версия).

Дифференциация тренировочных режимов на основе модифицированной шкалы воспринимаемого напряжения (RPE). Для оптимизации тренировочного процесса и обеспечения безопасности пациентов применяется дифференциация нагрузок на основе модифицированной шкалы воспринимаемого напряжения (RPE). В зависимости от субъективной оценки, речевых маркеров и методических ограничений выделяют три основных тренировочных режима.

- Базовый реабилитационный режим (4–5 баллов RPE). Характеризуется легким или умеренным напряжением. Главным физиологическим маркером служит способность пациента

свободно поддерживать речь полными предложениями. Данный режим является фундаментом программы и составляет 60–70% от общего хронометража тренировочного времени.

– Режим развития общей и специальной выносливости (6–7 баллов RPE). Оценивается субъективно как тяжелый. Нагрузка приводит к ограничению речевой функции, при которой пациент способен воспроизводить исключительно короткие фразы. На данный компонент отводится не более 20% от общего времени программы.

– Субмаксимальный режим (8–9 баллов RPE). Характеризуется экстремально тяжелым напряжением. Сопровождается выраженным речевым дефицитом и прерывистым дыханием. В силу высокой интенсивности данный режим полностью противопоказан на пропедевтическом этапе (первые 3–6 месяцев тренировок) [22, 23].

В контексте прецизионной объективизации описанных нагрузок фундаментальное значение имеют исследования Chin, T. и соавторов (2001). Авторами экспериментально доказана высокая терапевтическая и тренировочная эффективность индивидуализированных программ, базирующихся на детерминации анаэробного порога (АТ). В их работе этот показатель был верифицирован посредством специализированного одностороннего велоэргометрического тестирования у лиц с ампутациями нижних конечностей [24].

Алгоритмизация интервальных режимов и этапная прогрессия. Вследствие стойкого компенсаторного гипертонуса мышечных групп со стороны сохранной конечности и мышц-антагонистов усеченного сегмента построение тренировочного процесса требует применения строго регламентированного интервального метода с пролонгированными периодами реституции. На начальном этапе реабилитации оптимальным признано соотношение фаз активности и пассивного отдыха в пропорции 1:3 (например, 60 секунд выполнения специализированного упражнения к 180 секундам пассивного отдыха). Переход к прогрессивному этапу тренировок со сдвигом пропорции до 1:2 допускается исключительно при условии полного восстановления исходных гемодинамических показателей (ЧСС) обследуемого в течение нормативных 3 минут отдыха. На первой неделе занятий суммарный хронометраж основного тренировочного блока не должен превышать 10–15 минут чистого времени работы [25].

Предложенный методологический подход согласуется с современными трендами доказательной медицины в области адаптивного спорта [7]. В систематическом обзоре С. Дюпуи с соавторами (2024) со средней степенью доказательности

подтверждена клиническая эффективность тренировочного паттерна, включающего от 1 до 3 занятий в неделю продолжительностью 20 - 60 минут [7]. Данный регламент концептуально дополняет базовые клинические рекомендации Американского колледжа спортивной медицины (ACSM), регламентирующие объем умеренной и интенсивной физической активности (УИФА) в объеме не менее 150 минут в неделю [26].

Результаты и обсуждение

Исследования, выполненные на кафедре физической реабилитации и адаптивного спорта, позволили разработать трехэтапный алгоритм контроля физической нагрузки в процессе реабилитации лиц с ампутацией конечностей:

Биомеханический контроль межконечной асимметрии и параметры дозирования компенсаторной нагрузки. В процессе физической реабилитации и спортивной подготовки лиц с ампутациями нижних конечностей интактная (сохранная) конечность подвергается выраженной компенсаторной биомеханической перегрузке. Клиническими маркерами неадекватности адаптационных процессов и триггерами для коррекции тренировочной программы выступают манифестация болевого синдрома в лумбоишиалгической области, а также в крупных суставах контралатеральной конечности. Объективным критерием декомпенсации служит превышение величины механической (опорной) нагрузки на интактную сторону более чем на 20 % относительно показателей пораженного сегмента.

Регуляция силовых нагрузок должна осуществляться строго на основе принципа симметричности мышечного усилия. При использовании отягощений исходный вес детерминируется текущими функциональными возможностями пораженной конечности. Диапазон асимметрии при работе с контралатеральной стороной не должен превышать пороговое значение в 20 % [26].

Данный подход согласуется с фундаментальными результатами исследований В. А. Кобзева и В. В. Храмова (2002), выявивших специфические особенности реакций кардиореспираторной системы на физическую нагрузку у спортсменов с ампутациями конечностей, что строго обосновывает необходимость индивидуализации и прецизионного дозирования тренировочных параметров [21].

Применение прогрессивно-ступенчатого метода в структуре циклических нагрузок. При выполнении локомоторных нагрузок циклического характера (высокоинтенсивный бег с использованием специализированных углепластиковых стоп-протезов, велоспорт) авторами разработан

и внедрен метод «ступенчатого шага», направленный на оптимизацию адаптационного потенциала [21].

Микроциклы 1–2 (интенсифицирующий этап): характеризуются экстенсивным увеличением темпа двигательной активности со средним приростом 2–3 % еженедельно.

Микроцикл 3 (разгрузочно-восстановительный этап): предполагает снижение общего объема локомоторной нагрузки на 40–50 % от исходного уровня. Данный период необходим для суперкомпенсации, профилактики микротравматизации зон интерфейса «культя — приемная гильза» и стимуляции репаративного остеогенеза усеченного сегмента [27].

Методика оперативного самоконтроля и критерии декомпенсации. Внедрение стандартизированного оперативного мониторинга является обязательным компонентом оценки индивидуальной переносимости физических нагрузок [28].

В рамках разработанного нами протокола фиксации подлежат следующие маркеры дезадаптации.

Субъективная оценка болевого синдрома в тканях культы, определяемая по 10-балльной визуально-аналоговой шкале (ВАШ) [29, 30].

Хронотропная реакция миокарда — регистрация частоты сердечных сокращений (ЧСС) на 1-й минуте раннего восстановительного периода. [31].

Показатели структуры и качества ночного сна (инсомнические расстройства интерпретируются как признак кумулятивного переутомления центральной нервной системы) [32].

– Регуляторный критерий: преобладание выраженной утренней ригидности в суставно-связочном аппарате интактной конечности над явлениями мышечного утомления (крепатуры) в целевых сегментах культы свидетельствует о срыве локальной адаптации. Данное состояние требует снижения интенсивности и объема последующего тренировочного занятия не менее чем на 20 %.

Теоретическая значимость исследования заключается в систематизации и интеграции в единый методологический базис разрозненных данных по спортивной классификации, биомеханике локомоций на протезных системах и физиологии физических нагрузок у лиц с ампутациями конечностей. В научный оборот введены патогенетические принципы дозирования тренировочных воздействий, постулирующие приоритет локального статуса усеченного сегмента над кардиореспираторным ответом, что существенно расширяет теоретико-методические основы адаптивного спорта. В ходе работы была теоретически и эмпирически обоснована нева-

лидность традиционных прогностических формул расчета частоты сердечных сокращений для данного контингента, в связи с чем предложена альтернативная система оценки на основе шкалы воспринимаемого напряжения Борга (RPE), дополненная прецизионными речевыми и клиническими маркерами. Кроме того, разработана и научно аргументирована трехкомпонентная модель мотивационно-потребностной сферы реабилитанта, выступающая концептуальной основой для проектирования и реализации персонализированных адаптационно-тренировочных траекторий.

Практическая значимость работы заключается в разработке и внедрении готового алгоритма профориентации и выбора дисциплины адаптивного спорта с учетом специфики нозологии, текущих функциональных возможностей и индивидуальных предпочтений лиц с ампутациями конечностей. Разработаны и внедрены в практику стандартизированные протоколы оперативного мониторинга, включающие визуально-пальпаторный контроль локального статуса культы, модифицированную шкалу воспринимаемого напряжения (RPE) и структурированный дневник самоконтроля, предназначенные для непосредственного использования реабилитантом, реабилитологами и тренерским составом. Сформулированы конкретные тренировочные режимы с прецизионными числовыми параметрами, регламентирующими интервалы работы и отдыха в соотношении от 1:3 до 1:2, параметры прогрессии нагрузок, а также алгоритм снижения общего объема двигательной активности на 30–50 % при манифестации локального отека в рамках разгрузочных микроциклов.

Заключение

1. Выбор вида спорта для лица с ампутацией должен основываться на медицинской оценке, понимании спортивной классификации, индивидуальных целях и функциональных возможностях.

2. Дозирование нагрузки требует отказа от стандартных формул ЧСС в пользу субъективной оценки восприятия и постоянного мониторинга состояния культы.

3. Эффективность тренировочных программ подтверждена для режима 1–3 занятий в неделю по 20–60 минут с сочетанием аэробных и силовых упражнений.

4. Контроль асимметрии и ведение дневника самоконтроля являются обязательными элементами безопасного тренировочного процесса.

Список источников

1. Göktepe A. S., Cakir B., Yilmaz B., Yazicioglu K. Energy expenditure of walking with

prostheses: comparison of three amputation levels. *Prosthetics and Orthotics International*. 2010; 34 (1) : 31 - 36. DOI: <https://doi.org/10.3109/03093640903433928>.

2. Herzog M. et al. Bionic ankle-foot prosthesis normalizes walking gait for persons with leg amputation. *PubMed*. 2025. DOI: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22281148>.

3. Бернштейн М. И., Евтюхин А. И., Воробьев В. В. Изменение объема циркулирующей крови при операциях, связанных с удалением значительной части тела. *Вестник хирургии имени И. И. Грекова*. 1979; 122 (1) : 86 - 89. PMID: 425284.

4. Bragaru M., Dekker R., Dijkstra P. U. Amputees and sports: a systematic review. *Sports Medicine*. 2011; 41 (9) : 721 - 740. DOI: <https://doi.org/10.2165/11590420-000000000-00000>.

5. Chang S., Yan J., Mu, L. Effects of exercise on physical performance and quality of life in individuals with limb amputation: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disord*. 2025; 26 : 965. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12891-025-09128-3>

6. Hudson, L. et al. Sport Participation Positively Associated with Balance Confidence and Well-being in Transtibial Amputees. *International Journal of Exercise Science*. 2024; 17 (5): 1663 - 1678. DOI: <https://doi.org/10.70252/UGCR3521>

7. Dupuis F., Martin Ginis K. A., MacKay C., Best K. L., Blanchette V., Cherif A., Robert M. T., Miller W. C., Gee C., Harba N., Brousseau – Foley M., Zidarov D. Do Exercise Programs Improve Fitness, Mobility, and Functional Capacity in Adults with Lower Limb Amputation? A Systematic Review on the Type and Minimal Dose Needed. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2024; 105 (6) : 1194 - 1211. DOI: 10.1016/j.apmr.2023.10.011.

8. Pepper M. et al. Maximizing physical activity in athletes with amputations. *Current Sports Medicine Reports*. 2009; 8 (6): 339 - 344. DOI: <https://doi.org/10.1249/JSR.ob013e3181c1db12>

9. Образцов М. С. Особенности биомеханики движения лиц с ампутациями в построении тренировочного процесса. *Известия Тульского государственного университета. Физическая культура. Спорт*. 2025; 10: 25 - 37. DOI: 10.24412/2305 8404 2025 10 25 37. EDN EUYCQJ.

10. Bouzas S., Molina A. J., Fernández - Villa T., Miller K., Sánchez - Lastra M. A., Ayán C. Effects of exercise on the physical fitness and functionality of people with amputations: Systematic review and meta-analysis. *Disabil Health J*. 2021 Jan; 14 (1): 100976. DOI: 10.1016/j.dhjo.2020.100976. Epub 2020 Jul 30. PMID: 32819852.

11. International Paralympic Committee (IPC). *Classification Rules & Regulations* 2025. URL: <https://www.paralympic.org/documents>.

12. Syrop I. P., Johnson W., Oh. H. Winter Adaptive Sports Participation, Injuries, and Equipment. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*. 2019; 27 (2) : 56 - 59. DOI: <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000236>.

13. Spörner M. L., Fitzgerald S. G., Dicianno B. E., Collins D., Teodorski E., Pasquina P. F., Cooper R. A. Psychosocial impact of participation in the National Veterans Wheelchair Games and Winter Sports Clinic. *Disability and Rehabilitation*. 2009; 31 (5) : 410 - 418. DOI: <https://doi.org/10.1080/09638280802030923>.

14. Fagher K., DeLuca S., Derman W., et al. Optimising health equity through para sport. *British Journal of Sports Medicine*. 2023; 57: 131-132. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106229>

15. Najafabadi M. G., Shariat A., Anastasio A. T., Khah A. S., Shaw I., Kavianpour M. Wheelchair basketball, health, competitive analysis, and performance advantage: A review of theory and evidence. *Journal of Exercise Rehabilitation*. 2023; 19 (4) : 208 - 218. DOI: <https://doi.org/10.12965/jer.2346216.108>.

16. Leung K. M., Chung P. K., Chu W. et al. Physical and psychological health outcomes of a sitting light volleyball intervention program on adults with physical disabilities: a non-randomized controlled pre-post study. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2021; 13: 100. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00328-7>.

17. Nahorna A., Baur H., Kyrychenko V., Andrieieva O., Lazarieva O. *Effects of organized physical activity on quality of life and Phantom pain among adults with lower limb amputation: a systematic review and meta-analysis*. *Qual Life Res*. 2026 Jan 3; 35 (1): 19. DOI: 10.1007/s11136-025-04149-w. PMID: 41483283; PMCID: PMC12764670.

18. Houdijk H., Kal E., Ettema S. General estimates of the energy cost of walking in people with different levels and causes of lower-limb amputation: a systematic review and meta-analysis. *Prosthetics & Orthotics International*. 2021; 45 (5): 417 - 427. DOI: <https://doi.org/10.1097/PXR.0000000000000035>

19. Loeke van Schaik, Jan H. B. Geertzen, Pieter U. Dijkstra, Rienk Dekker. *Metabolic costs of daily living activities in persons with a lower limb amputation: A systematic review and meta-analysis*. 2019; March 20. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213256>

20. Physiopedia. *High level rehabilitation of amputees*. URL: https://www.physio-pedia.com/High_level_rehabilitation_of_amputees.

21. Кобзев Ю. А., Храмов В. В. Некоторые особенности реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку у инвалидов-ампутантов, занимающихся спортом. *Теория и*

практика физической культуры. 2002; 7 : 13 - 16. URL: <http://sportlib.su/Press/TPFK/2002N7/p13-16.htm>

22. Klarich J., Brueckner I. Amputee rehabilitation and preprosthetic care. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. 2024; 25 (1): 75 - 91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2013.09.005>.

23. Devan H., Carman A., Hendrick P., Hale L., Ribeiro D. C. Spinal, pelvic, and hip movement asymmetries in people with lower-limb amputation: Systematic review. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 2015; 52 (1) : 1 - 20. DOI: <https://doi.org/10.1682/JRRD.2014.05.0135>

24. Chin T., Sawamura S., Ojima L., Oyabu H., Nagakura Y., Otsuka H., Nakagawa A. Effect of endurance training program based on anaerobic threshold (ATh) for lower limb amputees. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 2001; 38 (1) : 7 - 11. PMID: 11322473.

25. Nakagawa A., Otsuka H., Ojima I., Nagakura Y., Oyabu H., Nakajima S., Fujita H., Sawamura S., Chin T. Physical Fitness of Lower Limb Amputees. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2002; 81 (5) : 321 - 325.

26. Legg D., Budeau B., Blowe K., Martin Ginis K., Morgan K., Ptomie L., Huck J., Tau S., Fernhall, B. ACSM Expert Consensus Statement: Considerations and Recommendations for Exercise Prescription and Physical Activity Program Development for People with Disabilities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2025; 57 (11) : 2588 - 2598. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003775>.

27. Rosario M. L. V. V.; Costa P. B.; da Silveira A. L. B., Florentino K. R. C., Casimiro - Lopes G., Pimenta R. A., Dias I., Bentes C. M. Effects of Resistance Training in Individuals with Lower Limb Amputation: A Systematic Review. *J. Funct. Morphol. Kinesiol*. 2023; 8 : 23. DOI: <https://doi.org/10.3390/jfmk8010023>

28. Abdollahi M., Kuber P. M., Rashedi E. Dual Tasking Affects the Outcomes of Instrumented Timed up and Go, Sit-to-Stand, Balance, and 10-Meter Walk Tests in Stroke Survivors. *Sensors*. 2024; 24 (10) : 2996. DOI: 10.3390/s24102996. DOI : <https://doi.org/10.3390/s24102996>

29. Kim J. M., Balthazaar S. J. T., Alsayed K. et al. Assessment of pain and functional outcomes after lower limb amputation: a scoping review *BMJ Open*. 2026; 16 : e110319. DOI : 10.1136/bmjopen-2025-110319

30. Richard J., Quaye A. Phantom limb pain assessment tools: A literature review exploring strengths and limitations. *Archives of Rehabilitation Research and Clinical Translation*. 2025; DOI : <https://doi.org/10.1016/j.arrct.2025.100453>

31. Christopher R. Cole, Eugene H. Blackstone, Fredric J. Pashkow, Claire E. Snader, Michael

S. Lauer. Heart-Rate Recovery Immediately after Exercise as a Predictor of Mortality. *Engl J Med*. 1999; 341 (18): 1351 - 1357. DOI: 10.1056/NEJM199910283411804

32. Doherty R., Madigan S. M., Nevill A., Warrington G., Ellis J. G. The Sleep and Recovery Practices of Athletes. *Nutrients*. 2021; 13 : 1330. DOI : <https://doi.org/10.3390/nu13041330>.

References

1. Göktepe A. S., Cakir B., Yilmaz B., Yazicioglu K. Energy expenditure of walking with prostheses: comparison of three amputation levels. *Prosthetics and Orthotics International*. 2010; 34 (1) : 31 - 36. DOI: <https://doi.org/10.3109/03093640903433928>.

2. Herzog M. et al. Bionic ankle-foot prosthesis normalizes walking gait for persons with leg amputation. *PubMed*. 2025. DOI: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22281148>.

3. Bernshtein M. I., Evtyukhin A. I., Vorobyev V. V. Бернштейн М. И., Евтюхин А. И., Воробьев В. В. Changes in the circulating blood volume in operations associated with removal of a significant portion of the body. *Vestn Khir Im I I Grek*. 1979; 122 (1) : 86 - 89. PMID: 425284 [In Russ.].

4. Bragaru M., Dekker R., Dijkstra P. U. Amputees and sports: a systematic review. *Sports Medicine*. 2011; 41 (9) : 721 - 740. DOI: <https://doi.org/10.2165/11590420-000000000-00000>.

5. Chang S., Yan J., Mu, L. Effects of exercise on physical performance and quality of life in individuals with limb amputation: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disord*. 2025; 26 : 965. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12891-025-09128-3>

6. Hudson, L. et al. Sport Participation Positively Associated with Balance Confidence and Well-being in Transtibial Amputees. *International Journal of Exercise Science*. 2024; 17 (5): 1663 - 1678. DOI: <https://doi.org/10.70252/UGCR3521>

7. Dupuis F., Martin Ginis K. A., MacKay C., Best K. L., Blanchette V., Cherif A., Robert M. T., Miller W. C., Gee C., Harba N., Brousseau - Foley M., Zidarov D. Do Exercise Programs Improve Fitness, Mobility, and Functional Capacity in Adults with Lower Limb Amputation? A Systematic Review on the Type and Minimal Dose Needed. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2024; 105 (6) : 1194 - 1211. DOI: 10.1016/j.apmr.2023.10.011.

8. Pepper M. et al. Maximizing physical activity in athletes with amputations. *Current Sports Medicine Reports*. 2009; 8 (6): 339 - 344. DOI: <https://doi.org/10.1249/JSR.ob013e3181c1db12>

9. Obraztsov M. S. Biomechanical characteristics of movement in individuals with amputations in the context of training process design. *Bulletin of Tula State University. Physical Culture*.

Sport. 2025; 10 : 25 -37. DOI: 10.24412/2305 8404 2025 10 25 37. EDN EUYCQJ.

10. Bouzas S., Molina A. J., Fernández - Villa T., Miller K., Sánchez - Lastra M. A., Ayán C. Effects of exercise on the physical fitness and functionality of people with amputations: Systematic review and meta-analysis. *Disabil Health J*. 2021 Jan; 14 (1): 100976. DOI: 10.1016/j.dhjo.2020.100976. Epub 2020 Jul 30. PMID: 32819852.

11. International Paralympic Committee (IPC). *Classification Rules & Regulations* 2025. URL: <https://www.paralympic.org/documents>.

12. Syrop I. P., Johnson W., Oh H. Winter Adaptive Sports Participation, Injuries, and Equipment. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*. 2019; 27 (2) : 56 - 59. DOI: <https://doi.org/10.1097/JSA.000000000000236>.

13. Spörner M. L., Fitzgerald S. G., Dicianno B. E., Collins D., Teodorski E., Pasquina P. F., Cooper R. A. Psychosocial impact of participation in the National Veterans Wheelchair Games and Winter Sports Clinic. *Disability and Rehabilitation*. 2009; 31 (5) : 410 - 418. DOI: <https://doi.org/10.1080/09638280802030923>.

14. Fagher K., DeLuca S., Derman W., et al. Optimising health equity through para sport. *British Journal of Sports Medicine* 2023; 57 : 131 - 132. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106229>

15. Najafabadi M. G., Shariat A., Anastasio A. T., Khah A. S., Shaw I., Kavianpour M. Wheelchair basketball, health, competitive analysis, and performance advantage: A review of theory and evidence. *Journal of Exercise Rehabilitation*. 2023; 19 (4) : 208 - 218. DOI: <https://doi.org/10.12965/jer.2346216.108>.

16. Leung K. M., Chung P. K., Chu W. et al. Physical and psychological health outcomes of a sitting light volleyball intervention program on adults with physical disabilities: a non-randomized controlled pre-post study. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2021; 13: 100. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00328-7>.

17. Nahorna A., Baur H., Kyrychenko V., Andrieieva O., Lazarieva O. Effects of organized physical activity on quality of life and Phantom pain among adults with lower limb amputation: a systematic review and meta-analysis. *Qual Life Res*. 2026 Jan 3; 35 (1): 19. DOI: 10.1007/s11136-025-04149-w. PMID: 41483283; PMCID: PMC12764670.

18. Houdijk H., Kal E., Ettema S. General estimates of the energy cost of walking in people with different levels and causes of lower-limb amputation: a systematic review and meta-analysis. *Prosthetics & Orthotics International*. 2021; 45 (5): 417 - 427. DOI: <https://doi.org/10.1097/PXR.000000000000035>

19. Loeke van Schaik, Jan H. B. Geertzen, Pieter U. Dijkstra, Rienk Dekker. Metabolic costs of

daily living activities in persons with a lower limb amputation: A systematic review and meta-analysis 2019; March 20. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213256>

20. Physiopedia. High level rehabilitation of amputees. URL: https://www.physio-pedia.com/High_level_rehabilitation_of_amputees.

21. Kobzev Yu. A., Khramov V. V. Some features of the cardiovascular system's response to physical exertion in amputee disabled individuals engaged in sports. *Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kul'tury = Theory and Practice of Physical Culture*. 2002; 7 : 13 - 16. URL: <http://sportlib.su/Press/TPFK/2002N7/p13-16.htm> [In Russ.]

22. Klarich J., Brueckner I. Amputee rehabilitation and preprosthetic care. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. 2024; 25 (1): 75 - 91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2013.09.005>.

23. Devan H., Carman A., Hendrick P., Hale L., Ribeiro D. C. Spinal, pelvic, and hip movement asymmetries in people with lower-limb amputation: Systematic review. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 2015; 52 (1) : 1 - 20. DOI: <https://doi.org/10.1682/JRRD.2014.05.0135>

24. Chin T., Sawamura S., Ojima L., Oyabu H., Nagakura Y., Otsuka H., Nakagawa A. Effect of endurance training program based on anaerobic threshold (ATh) for lower limb amputees. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 2001; 38 (1) : 7 - 11. PMID: 11322473.

25. Nakagawa A., Otsuka H., Ojima I., Nagakura Y., Oyabu H., Nakajima S., Fujita H., Sawamura S., Chin T. Physical Fitness of Lower Limb Amputees. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2002; 81 (5) : 321 - 325.

26. Legg D., Budeau B., Blowe K., Martin Ginis K., Morgan K., Ptomie L., Huck J., Tau S., Fernhall, B. ACSM Expert Consensus Statement: Considerations and Recommendations for Exercise Prescription and Physical Activity Program Development for People with Disabilities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2025; 57 (11) : 2588 - 2598. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003775>.

27. Rosario M. L. V. V.; Costa P. B.; da Silveira A. L. B., Florentino K. R. C., Casimiro - Lopes G., Pimenta R. A., Dias I., Bentes C. M. Effects of Resistance Training in Individuals with Lower Limb Amputation: A Systematic Review. *J. Funct. Morphol. Kinesiol*. 2023; 8 : 23. DOI: <https://doi.org/10.3390/jfmr8010023>

28. Abdollahi M., Kuber P. M., Rashedi E. Dual Tasking Affects the Outcomes of Instrumented Timed up and Go, Sit-to-Stand, Balance, and 10-Meter Walk Tests in Stroke Survivors. *Sensors*. 2024; 24 (10) : 2996. DOI: 10.3390/s24102996. DOI : <https://doi.org/10.3390/s24102996>

29. Kim J. M., Balthazaar S. J. T., Alsayed K.

et al. Assessment of pain and functional outcomes after lower limb amputation: a scoping review *BMJ Open*. 2026; 16 : e110319. DOI : 10.1136/bmjopen-2025-110319

30. Richard J., Quaye A. Phantom limb pain assessment tools: A literature review exploring strengths and limitations. *Archives of Rehabilitation Research and Clinical Translation*. 2025; DOI : <https://doi.org/10.1016/j.arrct.2025.100453>

31. Christopher R. Cole, Eugene H. Blackstone, Fredric J. Pashkow, Claire E. Snader, Michael S. Lauer. Heart-Rate Recovery Immediately after Exercise as a Predictor of Mortality. *Engl J Med*. 1999; 341 (18): 1351 – 1357. DOI: 10.1056/

NEJM199910283411804

32. Doherty R., Madigan S. M., Nevill A., Warrington G., Ellis J. G. The Sleep and Recovery Practices of Athletes. *Nutrients*. 2021; 13 : 1330. DOI : <https://doi.org/10.3390/nu13041330>.

Статья поступила в редакцию: 18.07.2026

Шевцов Анатолий Владимирович – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физической реабилитации и адаптивного спорта, Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена, Санкт-Петербург, 191186, Россия, г. Санкт – Петербург, набережная Мойки, дом 48, sportmedi@mail.ru

Коломиец Ольга Ивановна – кандидат биологических наук, доцент, кафедра физической реабилитации и адаптивного спорта, Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена, Санкт-Петербург, 191186, Россия, г. Санкт – Петербург, набережная Мойки, дом 48, Kolomies_o@mail.ru
