

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ ПРОТОКОЛА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ПОСТУРАЛЬНОГО БАЛАНСА У ЛИЦ С ИММОБИЛИЗАЦИЕЙ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ В УСЛОВИЯХ ВЫПОЛНЕНИЯ «ДВОЙНОЙ ЗАДАЧИ»

П.А. Байгужин, baiguzhinpa@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5092-0943>

В.В. Эрлих, erlih-vadim@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4416-1925>

С.Б. Сапожников, sapozhnikovsb@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7022-4865>

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Цель: разработать и обосновать протокол комплексной оценки постурального баланса у лиц с иммобилизацией нижней конечности в условиях выполнения «двойной задачи». **Материалы и методы.** Основными методами достижения цели являлись анализ (обоснование взаимосвязи между процедурами оценивания); синтез (обобщение, построение последовательности и структуризация обследования); прогнозирование (формирование предпосылок для алгоритма оценивания и моделирования). **Результаты.** В результате исследования был разработан детализированный протокол, включающий четыре варианта условий оценки постурального баланса и функционального состояния нервной системы: 1) в положении стоя; 2) при выполнении батареи сенсомоторных тестов; 3) при ходьбе на беговой дорожке; 4) при ходьбе с одновременным выполнением сенсомоторных тестов. Протокол предполагает синхронную регистрацию стабิโลграфических (с использованием инерционного сенсора), электрокардиографических и психофизиологических показателей. Особое внимание уделено мерам безопасности, критериям включения/исключения испытуемых и процедуре адаптации к условиям иммобилизации. **Заключение.** Предложенный протокол обеспечивает стандартизированный алгоритм мониторинга, повышает безопасность испытуемых и надежность получаемых данных. Комплексный анализ параметров походки, постурального баланса, психомоторных функций и вегетативного обеспечения деятельности в условиях «двойной задачи» позволит выявить особенности механизмов произвольной регуляции движений. Полученные результаты имеют высокую практическую значимость для оптимизации программ реабилитации лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата, включая лиц с ампутациями нижней конечности.

Ключевые слова: протокол обследования, постуральный баланс, походка, двойная задача, иммобилизация нижней конечности, психомоторные функции

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ FENU-2023-0017 (2023217ГЗ).

Для цитирования: Байгужин П.А., Эрлих В.В., Сапожников С.Б. Разработка и апробация протокола комплексной оценки постурального баланса у лиц с иммобилизацией нижней конечности в условиях выполнения «двойной задачи» // Человек. Спорт. Медицина. 2025. Т. 25, № 4. С. 69–76. DOI: 10.14529/hsm250409

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A PROTOCOL FOR COMPREHENSIVE POSTURAL BALANCE ASSESSMENT IN INDIVIDUALS WITH LOWER-LIMB IMMOBILIZATION UNDER DUAL-TASK CONDITIONS

P.A. Baiguzhin, baiguzhinpa@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5092-0943>
V.V. Erlikh, erlih-vadim@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4416-1925>
S.B. Sapozhnikov, sapozhnikovsb@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7022-4865>
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Aim. This paper aims to develop and substantiate a comprehensive protocol for the assessment of postural balance in persons with lower-limb immobilization under dual-task conditions. **Materials and methods.** The key study methods included the following: analysis, to justify the relationships between assessment procedures; synthesis, to generalize findings and establish the sequence and structure of the examination; and forecasting, to form the prerequisites for developing an assessment algorithm and a model. **Results.** The study resulted in a detailed protocol comprising four key assessment conditions for postural balance and the autonomic nervous system: 1. in a standing position; 2. during a battery of sensorimotor tests; 3. during treadmill walking; and 4. during walking while simultaneously performing sensorimotor tests. The protocol presumes a simultaneous recording of force platform measurements using an inertial sensor unit, electrocardiographic monitoring, and psychophysiological assessment. Special attention was paid to safety measures, subject inclusion and exclusion criteria, and the procedure for adaptation to immobilization. **Conclusion.** The proposed protocol provides a standardized monitoring algorithm and enhances the safety for participants and the reliability of the obtained data. A comprehensive analysis of gait patterns, postural balance, psychomotor functions, and autonomic regulation under dual-task conditions allows for revealing the specific features of the mechanisms of voluntary movement control. These findings are of practical importance for the optimization of rehabilitation programs for persons with musculoskeletal disorders, including lower-limb amputees.

Keywords: examination protocol, postural balance, gait, dual task, lower-limb immobilization, psychomotor functions

Acknowledgements. This research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, State Assignment No. FENU-2023-0017 (2023217GZ).

For citation: Baiguzhin P.A., Erlikh V.V., Sapozhnikov S.B. Development and validation of a protocol for comprehensive postural balance assessment in individuals with lower-limb immobilization under dual-task conditions. *Human. Sport. Medicine.* 2025;25(4):69–76. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm250409

Введение. Разработка и апробация регистрационных медико-биологических исследований является наиболее ответственной и ресурсоемкой частью реализации проектов [3], в том числе с применением альтернативных способов оценки функциональных состояний. Любое медико-биологическое исследование должно быть полностью детерминировано протоколом – документом, раскрывающим обоснование, методологию, информацию о достоверности получаемых данных, меры по обеспечению безопасности субъектов исследования, другие организационные детали с самого начала испытания до представления окончательных результатов [16].

Проблемное поле настоящего исследова-

ния – разработка условий тестирования эффектов произвольной регуляции движений в парадигме «двойной задачи» при испытании альтернативного протеза ноги, выполненного из композитных материалов [1], а также в состоянии иммобилизации коленного сустава. Очевидно, что лицам, перенесшим потерю нижней конечности, требуется специфическая адаптация психомоторных систем, обеспечивающих движение в протезе. При этом «когнитивные отвращения» во время ходьбы создают трудности для людей независимо от этиологии, уровня ампутации или длительности использования протеза [7]. По данным W.C. Miller с соавторами (2001), значительная часть пациентов с ампутацией нижних конеч-

ностей сообщает о необходимости концентрироваться на каждом шаге [14].

Результаты исследований сенсомоторной интеграции во время ходьбы у таких лиц сравнительно малочисленны [13, 17, 18]. Начиная с конца прошлого века, регулярно публикуются результаты, демонстрирующие преимущественно положительные эффекты влияния когнитивной нагрузки на постуральный контроль у ампутантов [6, 9]. Однако далеко не все стандартные современные реабилитационные программы тренировки равновесия при ходьбе учитывают эффективность «многозадачных» тренировок.

В работах, посвященных исследованию постурального баланса у ампутантов, чаще используют качественные тесты оценки статического и динамического равновесия [8]. Для оценки эффекта воздействия «двойной задачи» на походку используют ходьбу с выполнением когнитивного задания (например, «счет в уме» [6, 7]), ходьбу с выполнением двигательного задания (например, перенос подноса [6]).

В современной литературе актуализируется проблема измерения когнитивной нагрузки у людей с ампутацией конечностей для реабилитации и разработки протезов [17, 19]. Единичными являются работы, предметом исследования в которых является комплексная оценка биомеханических особенностей походки, умственной нагрузки и вегетативного обеспечения деятельности организма при ходьбе на протезах [5].

Таким образом, анализ методической части указанных выше исследований выявил необходимость разработки протокола комплексной оценки постуральной устойчивости у лиц с иммобилизацией нижней конечности в условиях выполнения «двойной задачи». Анализ результатов диагностики постурального баланса, биомеханических показателей походки и психомоторных функций при одновременном выполнении двигательных и когнитивных задач позволит оценить степень произвольности в регуляции движений. Полученные результаты будут востребованы при разработке рекомендаций по абилитации и реабилитации лиц с нарушениями функций нижних конечностей, в том числе при ампутациях различных уровней.

Цель – разработать и обосновать протокол комплексной оценки постуральной устойчивости у лиц с иммобилизацией нижней ко-

нечности в условиях выполнения «двойной задачи».

Материалы и методы. Основными методами достижения цели являлись анализ (обоснование взаимосвязи между процедур оценивания); синтез (обобщение, построение последовательности и структуризация обследования); прогнозирование (формирование предпосылок для алгоритма оценивания и моделирования).

Результаты. Анамнез, антропометрия, тонометрия. Фиксация демографической и медицинской информации, включая: пол, возраст, рост, вес, образование, прием лекарств, сопутствующие заболевания; для ампутантов – этиологию ампутации, особенности реабилитации, стаж реабилитации, использование средств передвижения, историю падений, страх падения. Фиксировали антропометрические показатели (массу тела, кг и длину тела, см), артериальное давление (мм рт. ст.).

Батарея методов оценки психомоторных функций организма. Для оценки точности сенсомоторной реакции использовали результаты теста «Реакция на движущийся объект» (РДО). Анализу подвергались среднее время реакции (мс); энтропия (усл. ед.); коэффициент вариативности (%); число точных реакций; число опережений и запаздываний; сумма времени опережений и запаздываний (мс). Параметры теста: тип движущегося объекта: динамическая заливка красного цвета по кругу; точка начала и окончания стимула – случайные; угловая скорость движения – 180 градусов в секунду; коридор точных реакций – ± 7 градусов (± 39 мс). Внутренний диаметр круга – 10 мм; ширина кольца – 40 мм. Реагирование на 35 стимулов соответствует длительности тестирования 30–35 с. Тестирование реализовано в полноэкранном режиме.

Оценку произвольной регуляции движений проводили на основании результатов тестирования по методике «Статическая треморетрия с обратной связью», где последняя реализуется звуковым сигналом в ответ на ошибку – касание пластины. Данный тест батареи применяется как средство мотивации к максимальной концентрации внимания и произвольной регуляции движений, что выгодно, на наш взгляд, заменяет аналогичные по эффекту необъективные (качественные) тесты, например, «перенос подноса» [6]. Параметры теста: диаметр отверстия – 10 мм; длительность тестирования – 30 с; обратная связь –

звуковая (при касании воспроизводится «тревожный» непродолжительный звуковой сигнал).

Оценку *сложной сенсомоторной реакции* осуществляли при помощи теста «Реакция различения», в котором целевой реакцией необходимо ответить на один определенный стимул из нескольких разнообразных стимулов одной модальности (нажатие на кнопку при появлении светового сигнала только красного цвета). Анализу подлежат среднее время реакции, мс, среднее время удержания нажатия кнопки, мс и число ошибок (ложные и/или запаздывающие реакции). Параметры теста: проба бинокулярная, цвет стимула – красный, вероятность появления помехового сигнала (белого, голубого, зеленого, желтого цветов) – 50 %; минимальный интервал между сигналами – 500 мс, максимальный – 2500 мс; время ожидания реакции – 1000 мс, продолжительность стимула – 200 мс. Реагирование на 12 стимулов соответствует длительности тестирования 30–40 с. Ошибочные реакции сопровождаются кратковременным «тревожным» звуковым сигналом. Все тесты выполняются ведущей рукой.

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

Метод оценки функционального состояния (реактивности) автономной нервной системы проводится на основе анализа данных электрокардиографического обследования с использованием сертифицированного 12-канального беспроводного электрокардиографа Поли-Спектр-8/ЕХ и лицензионного программного обеспечения «ПолиСпектр-Ритм» (ООО «НейроСофт», г. Иваново, <http://www.neurosoft.com>). ЭКГ-обследование проводилось согласно принятым рекомендациям Североамериканского общества по электростимуляции и электрофизиологии и Европейского общества кардиологов. ЭКГ регистрируется в положении стоя в первом стандартном отведении в течение всего времени обследования на этапах относительного покоя. Кардиоритмограммы эпохой 50 кардиоциклов обрабатывались с использованием программного алгоритма временного анализа с последующей оценкой показателей RRNN (мс), SDNN (мс), RMSSD (мс), pNN50 (%), CV (%).

Оценка постурального баланса организма проводится с помощью метода стабиллографии, реализованного в сертифицированном аппаратно-программном комплексе «Стэдис-Баланс» (ООО «НейроСофт», г. Иваново, <http://www.neurosoft.com>).

Инерционный сенсор «Нейросенс» закрепляется на крестце обследуемого [4] и регистрирует колебания его тела в пространстве (в трех взаимно перпендикулярных плоскостях: фронтальной, горизонтальной и сагиттальной). Регистрация проводится в двух режимах стабиллометрии: стоя в основной стойке в обуви с открытыми глазами и при ходьбе. Каждому режиму предшествовал аппаратный режим калибровки датчика.

Анализу подвергаются показатели постуральной функции, ускорений в плоскостях X (колебания вправо – влево), Y (колебания вперед – назад), Z (колебания вверх – вниз): 1) параметры ускорений: площадь проекции эллипсоида – $S, м^2/с^4$ – площадь проекции 95 % доверительного эллипсоида ускорения; Jerk, $м^2/с^5$ – рывок как производная от ускорения по времени (диапазон изменений акселерометрического сигнала); Dist, $м/с^2$ – среднее расстояние от центра траектории по ускорению (индекс «убегания»); Rms, $м/с^2$ – среднее квадратическое длин векторов ускорения; Path, $м/с^2$ – длина траектории по ускорению; Range, $м/с^2$ – диапазон ускорений; Mf, Гц – средняя частота (число циклов в секунду, которое должно быть пройдено, чтобы покрыть траекторию по ускорению); 2) параметры спектра ускорений: Pwtg, $м^2/с^4$ – мощность спектра ускорения; F50, Гц – медианная частота (частота, ниже которой содержатся 50 % мощности спектра); Cf, Гц – центроидная частота (частота, на которой мощность сбалансирована, т. е. мощность выше фактической частоты равна мощности ниже); Fd, у. е. – дисперсия частоты (мера изменчивости частот спектральной плотности мощности).

Графический анализ данных акселерометра и гироскопа стабиллометрического сенсора позволяют вычислить основные параметры походки, представляющие интерес при сравнении эффектов, полученных в условиях одиночной и двойной задачи: темп – скорость (м/с) и длина шага (см); ритм – время шага (мс) и каденция (шаги в минуту); база опоры – ширина шага (см); изменчивость – изменчивость длины шага (пространственная) и времени шага (временная) [10].

Содержание протокола обследования включает четыре «конечных точки»: 1) диагностика пострурального баланса и функционального состояния автономной нервной системы в положении стоя; 2) стоя при выполнении сенсомоторных тестов; 3) ходьба и 4) выполнение сенсомоторных тестов при ходьбе. Апробация протокола проходила на основе информированного согласия у добровольцев с иммобилизацией коленного сустава (правого или левого).

Обследование проводится в условиях лаборатории при соблюдении требований, предъявляемых к подобного рода исследованиям [2].

Измерения на всех точках проходят «стационарно» – стоя на беговой дорожке Life Fitness (Brunswick Corporation, США) и при ходьбе. Измерения на точках № 3 и 4 осуществляются при ходьбе по дорожке с нулевым углом ее наклона и скоростью движения ленты 3 км/ч. Длительность тестирования определяется длительностью отдельного психофизиологического теста – 30 с.

Обследование в положении стоя (точка 1). Обследуемый находится на беговой дорожке в европейской стойке с открытыми глазами, что обеспечивает условия максимального произвольного контроля функции равновесия [19]. В течение 30 с синхронно фиксируются стабิโลграфический и кардиографический сигналы.

Обследование в положении стоя с выполнением психофизиологических тестов (точка 2). Обследуемый в указанной стойке выполняет сенсомоторные тесты в следующей последовательности: «Статическая треморометрия» – «Реакция на движущийся объект» – «Реакция различения». Паузы отдыха между тестами 15–20 с, необходимых для калибровки инерционного датчика. В течение времени каждого теста (30 с) синхронно фиксируются стабิโลграфический и кардиографический сигналы.

Обследование в точках № 3 и 4 идентичны содержанию № 1 и 2, но проводятся при ходьбе по беговой дорожке.

Требования, обеспечивающие **безопасность обследуемых лиц** в условиях эксперимента, сводятся к жестко регламентированным правилам поведения и процедурам тестирования.

Допуск к обследованию производится с учетом критериев включения/исключения:

1) общие медицинские противопоказания к физическим нагрузкам (острые и перенесенные в течение последнего месяца сердечно-сосудистые и инфекционные заболевания); 2) противопоказания, специфичные для нагрузки на верхние конечности и нейромышечный аппарат (травмы органов опорно-двигательного аппарата, неврологические нарушения, хирургические вмешательства); 3) невозможность соблюдения протокола обследования: неспособность выполнить требуемые движения в рамках функционального тестирования; 4) прием препаратов, влияющих на нейромышечную проводимость и болевую чувствительность (менее чем за 72 часа до тестирования); употребление стимуляторов (кофеин) или реализация физических нагрузок (тренировок) в день тестирования; 5) отказ испытуемого от продолжения участия в обследовании на любом его этапе в силу возникновения непредвиденных неблагоприятных явлений (состояний) в процессе выполнения пробы (острая боль, признаки сосудистой недостаточности, резкое ухудшение самочувствия и др.). Критерии включения минимизируют развитие острых функциональных состояний при проведении нагрузочного тестирования

Во избежание наступления неблагоприятных состояний (ситуаций) заблаговременно, до обследования, проводится тщательный инструктаж и тренировочные пробы: сенсомоторное тестирование (расстояния, положение рук, особенности реагирования при активации опции звуковой обратной связи); тренировочная ходьба по беговой дорожке (переходы от периода калибровки инерционного датчика к ходьбе). Отрабатываются условные речевые команды во взаимодействии исследователя и обследованного лица.

Иммобилизация коленного сустава проводится с помощью бандажа (ортеза) MET GD018 с целью имитации состояния ограниченного движения и оценки функционального состояния системы произвольной регуляции движений («психомоторные функции – поструральный баланс – вегетативное обеспечение»). Обследование по содержанию и объему указанного выше протокола идентично и для обследования в состоянии иммобилизации коленного сустава. Однако обследуемый предварительно в течение 15 мин проводил тренировочные задания (в том числе и ходьба на беговой дорожке) с целью привыкания к искусственным двигательным контрактурам.

Конструкция беговой дорожки предусматривает возможность опорной ходьбы, однако нами в ходе кратковременной тренировки достигалась безопорная ходьба.

Гипотезы и перспектива. Тестирование походки с двойной задачей, как было постулировано, имеет экологическую валидность, поскольку большинство видов деятельности повседневной жизни включают одновременное выполнение когнитивных и двигательных задач. Очевидно, походка в условиях прямой траектории считается деятельностью с низкой когнитивной нагрузкой, однако неочевидно для аппроксимации способности ходьбы в ортезе, протезе, тем более когда необходима срочная адаптация моделей ходьбы для преодоления препятствий и/или изменения направления [12].

Известно, что в состоянии нарушенных функций вследствие ампутаций нижней конечности различных уровней при ходьбе с одновременным тестированием когнитивных функций наблюдается снижение скорости ходьбы [11, 15]. Однако неясно взаимодействие параметров функциональной системы «произвольной регуляции движений» в условиях сохранения постоянной скорости движения. Полученные результаты будут востребованы, например, в активной тренировке ампутантов (ведущих активный образ жизни) при подготовке к соревнованиям в рамках соот-

ветствующего требованиям вида адаптивного спорта. Кроме того, тренировка функциональной системы «произвольной регуляции движений» должна учитывать особенности функциональной асимметрии, что также является перспективной темой исследования.

Достоверность данных, обеспечивается стационарными условиями лаборатории, дизайном исследования, однородностью обследованных лиц (здоровые юноши 18–22 лет), строгими критериями включения/исключения на этапе скрининга, квалификацией исследователя, использования сертифицированного (лицензированного) оборудования и валидированных методик.

Заключение. Разработка протокола обеспечит алгоритм мониторинга обследования, безопасность субъектов и повышает надежность результатов испытания. Исследование факторов, влияющих на качество походки, очень важно для понимания механизмов мобильности, и как следствие для оптимизации результатов реабилитации. Анализ данных постурального контроля стойки и походки на фоне активизации когнитивных функций позволит продемонстрировать аддитивный эффект – важный в механизме формирования и действия функциональной системы произвольной регуляции движений у лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата, в частности у ампутантов.

Список литературы / References

1. Рациональное проектирование композитных трубчатых элементов протеза ноги / С.Б. Сапожников, М.В. Жихарев, В.В. Эрлих, П.А. Байгужин. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. 2025. Т. 17, № 1. С. 26–31. [Sapozhnikov S.B., Zhikharev M.V., Ehrlich V.V., Baiguzhin P.A. Rational design of composite materials tubular elements of the prosthetic leg. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika. Mekhanika. Fizika* [Bulletin of the South Ural State University Series “Mathematics. Mechanics. Physics”], 2025, vol. 17, no. 1, pp. 26–31. (in Russ.)] DOI: 10.14529/mmph250103
2. Самойлов В.О. Функциональное состояние человека: методология и принципы оценки. Вестник восстановительной медицины. 2008. № 3 (25). С. 30–32. [Samoilov V.O. Functional state of a person: methodology and principles of assessment. *Vestnik vosstanovitel'noi meditsiny* [Bulletin of Restorative Medicine], 2008, no. 3 (25), pp. 30–32.] (in Russ.)]
3. Толмачев А.В., Востокова Н.В. Разработка протокола регистрационного клинического исследования. Ремедиум. 2015. № 4. С. 53–57. [Tolmachev A.V., Vostokova N.V. Developing a registration study protocol. *Remedium* [Remedium], 2015, no. 4, pp. 53–57. (in Russ.)]
4. Эрлих В.В., Епишев В.В., Сапожников С.Б. Биомеханика ходьбы в норме и при наличии протеза ноги с использованием комплекса Xsens. Человек. Спорт. Медицина. 2023. Т. 23, № 4. С. 145–154. [Erlikh V.V., Epishev V.V., Sapozhnikov S.B. Gait biomechanics in normal conditions and with a lower-extremity prosthesis captured by the Xsens system. *Chelovek. Sport. Meditsina* [Human. Sport. Medicine], 2023, vol. 23(4), pp. 145–154. (in Russ.)]. DOI: 10.14529/hsm230418
5. Berettoni A., De Giuseppe S., Mariani G. et al. Exploration of biomechanics, mental workload

and metabolism factors during prosthetic gait. *Progress in biomedical engineering (Bristol)*, 2025, vol. 7(4). DOI: 10.1088/2516-1091/ae0f11

6. Demirdel S., Erbahçeci F. Investigation of the Effects of Dual-Task Balance Training on Gait and Balance in Transfemoral Amputees: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2020, vol. 101(10), ID art. 1675–1682. DOI: 10.1016/j.apmr.2020.06.009

7. Frengopoulos C., Payne M.W.C., Holmes J.D. et al. Comparing the Effects of Dual-Task Gait Testing in New and Established Ambulators With Lower Extremity Amputations. *Physical Medicine and Rehabilitation Journal*, 2018, vol. 10 (10), pp. 1012–1019. DOI: 10.1016/j.pmrj.2018.03.018

8. Gailey R.S. Predictive Outcome Measures Versus Functional Outcome Measures in the Lower Limb Amputee. *Journal of Prosthetics and Orthotics*, 2006, vol. 18(1S), pp. P51–P60.

9. Geurts A.C., Mulder T.H. Attention demands in balance recovery following lower limb amputation. *Journal of Motor Behavior*, 1994, vol. 26(2), pp. 162–70. DOI: 10.1080/00222895.1994.9941670

10. Hollman J.H., Kovash F.M., Kubik J.J., Linbo R.A. Age-related differences in spatiotemporal markers of gait stability during dual task walking. *Gait Posture*, 2007, vol. 26, pp. 113–119. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2006.08.005

11. Hunter S.W., Frengopoulos C., Holmes J. et al. Dual-task related gait changes in individuals with trans-tibial lower extremity amputation. *Gait and Posture*, 2018, vol. 61, pp. 403–407. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.02.012

12. Lowry K.A., Brach J.S., Nebes R.D. et al. Contributions of cognitive function to straight- and curved-path walking in older adults. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2012, vol. 93, pp. 802–807. DOI: 10.1016/j.apmr.2011.12.007

13. Meyer B., Krauskopf T., Fuchs K. et al. Corticomuscular coherence during upright standing in unilateral transfemoral amputees. *Brain Communications*, 2025, vol. 7(3), ID art. fcfa238. DOI: 10.1093/braincomms/fcaf238

14. Miller W.C., Speechley M., Deathe B. The prevalence and risk factors of falling and fear of falling among lower extremity amputees. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2001, vol. 82, pp. 1031–1037. – DOI: 10.1053/apmr.2001.24295

15. Morgan S.J., Hafner B.J., Kelly V.E. The effects of a concurrent task on walking in persons with transfemoral amputation compared to persons without limb loss. *Prosthetics and Orthotics International*, 2016, vol. 40, pp. 490–496. DOI: 10.1177/0309364615596066

16. Nikam S., Inde A., Jambhulkar A., Ghule A. Development and Writing of Clinical Trial Protocol. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 2022, vol. 72, no. 1. DOI: 10.47583/ijpsrr.2022.v72i01.011.

17. Rackerby R., Lukosch S., Munro D. Understanding and Measuring the Cognitive Load of Amputees for Rehabilitation and Prosthesis Development. *Archives of rehabilitation research and clinical translation*, 2022, vol. 4(3), ID art. 100216. DOI: 10.1016/j.arret.2022.100216

18. Shaw E.P., Rietschel J.C., Hendershot B.D. et al. A Comparison of Mental Workload in Individuals with Transtibial and Transfemoral Lower Limb Loss during Dual-Task Walking under Varying Demand. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 2019, vol. 25(9), pp. 985–997. DOI: 10.1017/S1355617719000602

19. Zwierko M., Lesiakowski P., Zwierko T. Postural Control during Progressively Increased Balance-Task Difficulty in Athletes with Unilateral Transfemoral Amputation: Effect of Ocular Mobility and Visuomotor Processing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17(17), ID art. 6242. DOI: 10.3390/ijerph17176242

Информация об авторах

Байгужин Павел Азифович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра спортивной науки; Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Эрлих Вадим Викторович, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры теории и методики физической культуры и спорта, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Сапожников Сергей Борисович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры технической механики, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Information about the authors

Pavel A. Baiguzhin, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Research Center for Sports Science, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Vadim V. Erlikh, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Theory and Methods of Physical Education and Sport, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Sergey B. Sapozhnikov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Department of Technical Mechanics, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.08.2025

The article was submitted 15.08.2025