

EDN: QCDDVX

УДК 612:376.22

Biological and Medical Aspects of Training and Competition Activity in Sledge Hockey

Lidia V. Kalina^{a, b},
Vladimir I. Kolmakov^{*a, c}, Ludmila I. Verigo^a,
Anna I. Kartavtzeva^a and Svetlana N. Chernyakova^a
^aSiberian Federal University
^bSports Training Center
^cInstitute of Biophysics SB RAS,
Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center SB RAS”
Krasnoyarsk, Russian Federation

Received 28.12.2023, received in revised form 29.02.2024, accepted 05.03.2024

Abstract. Sledge hockey offers a rich context for gaining multiple physical and social health benefits to athletes with physical disabilities. Sledge hockey technologies are considered an effective means of comprehensive rehabilitation and socialization of military personnel injured in combat. The review is aimed at analyzing and systematizing current views on physiological, biochemical, biomechanical, and medical aspects of training and competition activity in sledge hockey. Motor activity characteristics of sledge hockey players are considered. Physiological and medical risk factors for athletes involved in sledge hockey are identified. It is concluded that further search for new effective models of training in sledge hockey for athletes with disabilities is needed. The review may be useful for social services, public organizations, coaches, and managers in the field of adaptive physical culture and sports.

Keywords: sledge hockey, muscles of the upper limbs, biomechanics of movements, sports injuries, training activities.

Citation: Kalina L. V., Kolmakov V. I., Verigo L. I., Kartavtzeva A. I., Chernyakova S. N. Biological and medical aspects of training and competition activity in sledge hockey. J. Sib. Fed. Univ. Biol., 2024, 17(1), 5–18. EDN: QCDDVX



© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: vkolmakov@sfu-kras.ru
ORCID: 0009-0000-1206-160X (Kalina L.); 0000-0002-9643-609X (Kolmakov V.); 0009-0009-7213-0465 (Verigo L.); 0009-0005-2296-8033 (Kartavtzeva A.); 0009-0001-5742-1987 (Chernyakova S.)

Биолого-медицинские аспекты тренировочной и соревновательной деятельности в следж-хоккее

Л. В. Калина^{а, б}, В. И. Колмаков^{а, в},
Л. И. Вериго^а, А. И. Картавцева^а, С. Н. Чернякова^а

^аСибирский федеральный университет

^бЦентр спортивной подготовки

^вИнститут биофизики СО РАН

ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН»

Российская Федерация, Красноярск

Аннотация. Следж-хоккей – один из зимних командных видов адаптивного спорта, способствующий укреплению здоровья и повышению качества жизни людей с ограниченными возможностями. В последнее время технологии следж-хоккея рассматриваются как эффективное средство комплексной реабилитации и социализации раненых и травмированных военнослужащих, пострадавших в боевых действиях. Цель настоящего обзора – проанализировать и систематизировать современные представления о физиолого-биохимических, биомеханических и медицинских аспектах тренировочной и соревновательной деятельности в следж-хоккее. Рассмотрены особенности двигательной активности следж-хоккеистов. Определены физиологические и медицинские факторы риска для спортсменов, занимающихся следж-хоккеем. Показано, что для спортсменов с ограниченными возможностями необходимо продолжать поиск новых эффективных моделей тренировочной деятельности в следж-хоккее. Представленная в данной статье информация может быть полезна для государственных социальных служб, общественных организаций, тренеров и менеджеров в области адаптивной физической культуры и спорта.

Ключевые слова: следж-хоккей, мышцы верхних конечностей, биомеханика движений, спортивные травмы, тренировочная деятельность.

Цитирование: Калина Л. В. Биолого-медицинские аспекты тренировочной и соревновательной деятельности в следж-хоккее / Л. В. Калина, В. И. Колмаков, Л. И. Вериго, А. И. Картавцева, С. Н. Чернякова // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология, 2024. 17(1). С. 5–18. EDN: QCDDVX

Введение

Рост инвалидности среди населения планеты – глобальная общемировая проблема. В настоящее время в мире около 1,5 млрд человек живут с физическими, ментальными и коммуникативными нарушениями (Martin Ginis et al., 2021) и примерно 12 % из них на системной основе более пяти раз в неделю занимаются адаптивной физической культурой,

в том числе различными видами адаптивного спорта (Smith et al., 2019). Известно, что такие регулярные занятия не только способствуют укреплению здоровья, снижению уровня заболеваемости и смертности людей с ограниченными возможностями, но и сокращению вероятности наступления неблагоприятных вторичных последствий от малоподвижного образа жизни и даже восстановлению утра-

ченных функций (Diaz et al., 2019). Более того, адаптивный спорт способствует социализации и профессиональному трудоустройству людей с инвалидностью (McKinnon et al., 2022; Varahra et al., 2022), а также выступает одним из факторов социально-экономического развития отдельных территорий и стран (Declerck et al., 2019). Однако самое ценное приобретение от вовлеченности в спорт – это обретение надежды и нового смысла жизни для травмированного или больного человека (Busanich, McAfee, 2023). Неслучайно, в последнее время во многих странах мира наблюдается активное развитие адаптивного спорта.

Следж-хоккей (от английского *sledge hockey*) – это адаптированная версия хоккея на льду (хоккей с шайбой), предназначенная для спортсменов с ограниченными физическими возможностями нижней части тела, связанными с травмами спинного мозга, церебральным параличом или потерей конечностей, которые не могут кататься на коньках в положении стоя. Матч в следж-хоккее состоит из трех периодов по пятнадцать минут и проходит на ледовой площадке обычных размеров для хоккея с шайбой. Следж-хоккеисты находятся в санях с зафиксированным положением ступней, лодыжек, коленей и бедер и в каждой руке имеют по модифицированной хоккейной клюшке, которые используются для отталкивания ото льда и перемещения по площадке, а также для управления шайбой. На постоянной основе данным видом адаптивного спорта занимаются профессиональные спортсмены и любители, имеющие врожденные или приобретенные заболевания, а также получившие травмы или увечья в природных катастрофах, военных конфликтах, бытовых и производственных авариях. В последнее время следж-хоккей рассматривается как эффективное средство комплексной реабилитации и социализации раненых и травмированных военнослужащих,

пострадавших в военных конфликтах (Кононов и др., 2023; Колмаков и др., 2024).

С ростом популярности и значимости в общественной жизни этой командной игры важную роль приобретает понимание и нахождение научно-обоснованных решений некоторых биолого-медицинских проблем, связанных с развитием следж-хоккея. Спортсмены и их родственники, тренеры, менеджеры, специалисты, общественность должны иметь представление не только о пользе занятий следж-хоккеем, но и возможностях и ограничениях для игроков с поражением нижней части тела, а также травматической опасности и рисках этой спортивной игры (Oh et al., 2019). В интересах дальнейшего прогресса следж-хоккея в настоящем обзоре предпринята попытка проанализировать и систематизировать современные представления о физиолого-биохимических, биомеханических и медицинских аспектах, сопровождающих развитие данного вида адаптивного спорта.

Физиолого-биохимические и биомеханические исследования в следж-хоккее

Эволюция человечества неразрывно связана с приобретением прямоходящего двуногого бега, позволяющего добывать источники пищи с высоким содержанием белка, необходимого для развития мускулатуры и мозга (Raichlen, Alexander, 2017). В результате коэволюционного развития скелетных мышц, дыхательной и сердечно-сосудистой системы, процесса обмена веществ, у человека сформировался энергетически эффективный способ прямоходящего перемещения за счет передвижения нижних конечностей (Furrer et al., 2023). Примечательно, что такая эволюционная адаптация имеет важные современные последствия для достижения высоких результатов в тех видах спорта, где перемещение спортсменов происходит в основном за счет бега или ходьбы. Оче-

видно, что в тренировочной и соревновательной деятельности в следж-хоккее следует учитывать особенности физиолого-биохимических и биомеханических процессов, связанных с использованием для передвижения мышц верхних конечностей и спины, которые эволюционно предназначены для выполнения вспомогательной функции при прямоходящем перемещении у человека.

Как правило, в следж-хоккее принято использовать традиционную циклическую (периодическую) схему тренировок, имеющую физиолого-биохимическое обоснование и направленную на достижение максимальной готовности к определенным соревнованиям (Franca et al., 2022). Однако известно, что в процессе двигательной активности обмен газов и метаболитов между кровью и мышечной тканью у следж-хоккеистов происходит медленнее, чем у хоккеистов, перемещающихся по площадке за счет активных движений нижних конечностей. Согласно исследованиям (Lund Ohlsson, Laaksonen, 2017), кардиореспираторная дыхательная эффективность у спортсменов в положении сидя достоверно ниже, чем стоя. Например, пиковое потребление кислорода ниже при физических упражнениях на верхнюю часть тела, чем на нижнюю часть тела (Baumgart et al., 2018). Верхние конечности человека характеризуются меньшей мышечной массой и капилляризацией скелетных мышц, по сравнению с нижними конечностями. Следовательно, одна из целей физической подготовки следж-хоккеистов – это увеличение силы и улучшение капилляризации скелетных мышц пояса верхних конечностей (Leuchtman et al., 2020).

Следж-хоккеисту необходимо умело управлять двумя модифицированными клюшками и собственными движениями по поверхности льда с постоянной сменой направления движения за счет верхней части тела. В исследованиях

(Sandbakk et al., 2014a) для игроков профессионального уровня с целью развития мускулатуры плечевого пояса, спины и брюшного пресса предлагается использовать шестинедельные силовые интенсивные тренировки с отягощениями, включающими различные виды тяги (на скамье, вниз, вверх, вперед) с применением линейных энкодеров и жима штанги лежа. Известно, что упражнения с отягощением способствуют мышечной гипертрофии и соответствующему увеличению силы (Hendrickse et al., 2021). В тренировочном процессе функцию утяжелителей может выполнять так называемое интеллектуальное сопротивление, осуществляемое за счет прикрепленных к саням электромагнитных двигателей в сочетании с дисплеем, позволяющим в реальном времени дозировать физические нагрузки (Goldman et al., 2022).

В ходе матча по следж-хоккею игрок осуществляет многократные резкие высокоинтенсивные ускорения и остановки, при которых аэробный метаболизм не может удовлетворить потребности организма в АТФ. Из-за ограничений спортсменов традиционные тренировки с помощью беговой дорожки или езды на велотренажере невозможны. Поэтому в тренировках по следж-хоккею часто применяются методы повторных ускорений на льду с короткими интервалами для восстановления, приближенные к реальным соревнованиям (Sandbakk et al., 2015). В исследованиях (Sandbakk et al., 2014b) было установлено, что даже у хорошо тренированных следж-хоккеистов происходило снижение скорости на 7 % в течение восьми ускорений продолжительностью восемь секунд при возрастании частоты сердечных сокращений и уровня лактата в крови. Поэтому для увеличения мощности анаэробного метаболизма следж-хоккеисту необходимы так называемые интервальные тренировки с повторными ускорениями и короткими периодами отдыха (Rosso et al., 2020). В результате подобных тренировоч-

вок происходит физиологическая клеточная адаптация в организме спортсмена к усилению выработки энергии в результате анаэробных реакций распада мышечного гликогена и фосфокреатина посредством активизации работы ферментов, например, фосфофруктокиназы и миокиназы (Spriet, 2022; Egan, Sharples, 2023).

Тренировки с отягощением также могут способствовать развитию скоростных качеств следж-хоккеистов. На примере норвежских следж-хоккеистов было показано, что после шестинедельного выполнения упражнений, требующих применения силы против сопротивления наблюдается не только достоверный прирост в силе от 4 до 8 %, но и в среднем на 2–3 % сокращается время преодоления тридцатиметровой дистанции по льду на санях (Sandbakk et al., 2014b). То есть существует тесная связь между развитием мускулатуры верхней части тела и способностью следж-хоккеиста с высокой частотой производить толчок модифицированными клюшками двумя руками (Skovereng et al., 2013).

Тренировка выносливости особенно важна для игроков следж-хоккея, так как у них быстрее наступает мышечная усталость, чем у хоккеистов. Под усталостью понимается неспособность мышц поддерживать заданный уровень силы во время выполнения физических упражнений (Tornero-Aguilera et al., 2022). Повышенная усталость следж-хоккеистов связана не только с более медленным кислородным обменом при физических нагрузках в мышцах рук и спины, чем в крупных мышцах ног хоккеистов, но и со значительно более продолжительным временем нахождения на площадке в следж-хоккее (так называемые смены игроков). Упражнения на выносливость вызывают физиологическую адаптацию организма к увеличению окислительной способности мышц (D'Angelo, Rosa, 2020) и сократительной экспрессии мышечных белков

(Hawley et al., 2018). Однако важно регулировать интенсивность и продолжительность тренировки, чтобы предотвратить наступление нервно-мышечного переутомления спортсмена (O'Leary et al., 2017). Принято выделять “периферическую” утомляемость, определяемую нарушением функции мышц, и “центральную” утомляемость, связанную со снижением способности нервной системы активировать мышцы (Weavil, Amann, 2019). Одна из основных причин центрального утомления мышц – это нарушение передачи возбуждения в межнейронных синапсах из-за уменьшения запасов медиатора и истощения ресурсов нейрона (Di Domenico et al., 2022).

Так как высокоинтенсивные физические нагрузки сопровождаются метаболическими и гематологическими изменениями в организме следж-хоккеистов, то коррективы в план тренировок часто вносятся на основании результатов биохимических исследований крови. Например, в статье С. В. Нотовой с соавторами (Нотова и др., 2018) представлены данные биохимических показателей крови следж-хоккеистов в возрасте 20–40 лет. Оказалось, что высокоинтенсивные тренировки способствуют снижению содержания холестерина, альбумина, креатинина, но приводят к возрастанию глюкозы за счет мобилизации гликогена. В литературе имеются данные (Flockhart, Larsen, 2023) о том, что связь уровня глюкозы в крови с интенсивными физическими нагрузками имеет сложный характер и требует дальнейшего изучения.

Известно, что биомеханические исследования важны для оценки физических возможностей и спортивных достижений человека с ограничениями (Gal, 2017; Morrien et al., 2017). Биомеханика движений следж-хоккеиста определяется нахождением игрока в санях, что оказывает влияние на физиологию движений и оксигенацию мышц (Pellegrini et al., 2023). Например, для выполнения маневрирования

на площадке игроку требуется экстремальное сгибание и разгибание плеча и (или) запястья, отведение и вращение тела. Результаты экспериментов, проведенных с профессиональными игроками из канадской лиги Онтарио (Worden-Rogers, 2012), позволили определить оптимальное положение следж-хоккеиста в санях на основе биомеханического анализа угла наклона тела, высоты сидения и устойчивости. Для повышения качества игры следж-хоккеистов биомеханический анализ применяется в сочетании с компьютерным моделированием и алгоритмической оптимизацией (Naveed, 2023). Подобные исследования особенно актуальны при внедрении новых технологий для производства и модернизации адаптивного оборудования, особенно хоккейных саней с полозьями и пары клюшек для следж-хоккея. Например, Liang (2020) предложил использовать новый прототип клюшек, позволяющий бросать шайбу со скоростью на 10 % выше, чем имеющимися в продаже клюшками.

Таким образом, физиолого-биохимические и биомеханические особенности спортсменов, занимающихся следж-хоккеем, не позволяют “автоматически” применять эффективные модели тренировочной деятельности, принятые в хоккее с шайбой (Blauwet et al., 2019). Поэтому для следж-хоккеистов разрабатываются специфические коллективные и индивидуальные средства и методы спортивной подготовки (Baumgart, Sandbakk, 2016; Иванов и др., 2018).

Физиологические и медицинские факторы риска в следж-хоккее

Следж-хоккей, как и другие командные адаптивные виды спорта, способствует улучшению общего состояния здоровья и качества жизни спортсменов (Diaz et al., 2019). Однако в следж-хоккее существуют физиологические и медицинские факторы риска, препятствующие

или затрудняющие спортсменам с ограниченными физическими возможностями участвовать в соревнованиях (Napolitano et al., 2021). К таковым относятся нарушение режима дня и питания вследствие длительных многочасовых поездок к местам проведения матчей, обострение хронических заболеваний и риск получения травм при высоких физических соревновательных нагрузках (Luijten et al., 2021), опасность заболевания респираторными инфекциями (Steffen et al., 2022), условия окружающей среды (Ripat et al., 2020). Разнообразные нарушения здоровья и болезни спортсменов, многие из которых являются тяжелыми и прогрессирующими, требуют высокого уровня медицинского сопровождения с проведением частых медицинских процедур во внедомашней обстановке (Ralph et al., 2022). Например, из-за гемодинамических изменений вследствие травм спинного мозга или ампутации конечностей у спортсменов с ограничениями в движении наблюдается повышенный риск сердечно-сосудистых заболеваний (Sawczuk et al., 2023), а также нарушения мочеполовой и желудочно-кишечной функции (Dutton, 2019).

У следж-хоккеистов с травмами спинного мозга и ампутациями нарушена функция симпатической нервной системы, регулирующая термогенез, поэтому они подвержены тепловому или холодному стрессу. Например, при высокоинтенсивных физических упражнениях у следж-хоккеистов наблюдается более высокое поднятие температуры тела, чем у спортсменов без физических ограничений (Jung et al., 2017). Поскольку у следж-хоккеистов снижена способность адаптации к тепловому стрессу, рекомендовано обильное употребление воды перед началом и в течение матча. С другой стороны, следж-хоккеисты играют в прохладных условиях, что несет потенциальную опасность переохлаждения. В ходе матча игроки могут испытывать признаки наступления вегетативной

дисфункции, симптомы которой могут проявляться через головную боль, чрезмерную потливость, покраснение лица, расширение зрачков (Zapf, Joуse, 2018). Постоянное воздействие низких или высоких температур окружающей среды при физических нагрузках может вызывать кровотечение, аритмию, метаболический ацидоз и гипертермию (Song et al., 2015).

Картирование давления на разные участки тела в положении сидя для следж-хоккеистов было проведено в работе (Berthold et al., 2013). Оказалось, что систематическое занятие следж-хоккеем может подвергать игроков риску образования пролежней, или повреждения тканей в результате длительного или интенсивного давления. Для снижения этих рисков, необходим поиск новых конструкций санок и расположения подушек для игры в следж-хоккей. Исследование, проведенное Darragh с соавторами (2016), показало, что следж-хоккеисты испытывают более высокое давление в положении сидя, по сравнению с контрольной группой, составленной из спортсменов без физических ограничений. Средний уровень зарегистрированного давления у следж-хоккеистов превышал клинически приемлемое давление в положении сидя на нижние участки тела спортсмена, что указывает на высокий риск образования язв на коже.

Матчи по следж-хоккею проходят на высоких скоростях и в жесткой силовой борьбе, что может приводить к травматизму игроков (Sobry et al., 2021). При нахождении сидя в санях игрок перемещается за счет усиленной работы только верхних конечностей и плечевого пояса, что приводит к перегрузкам и увеличению риска получения травм. Разнообразные нарушения здоровья спортсменов-паралимпийцев предъявляют высокие требования к профилактике травматизма. Установлено (Derман et al., 2016), что для зимних Паралимпиад характерна более высокая частота травм, чем для летних Пара-

лимпийских Игр. Недавно были опубликованы исследования сравнительного мониторинга здоровья норвежских спортсменов, принимавших участие в зимних Паралимпийских и Олимпийских играх в период с 2012 по 2020 год (Clarsen et al., 2021). Оказалось, что характер и частота травм у паралимпийцев примерно совпадает с таковыми у олимпийцев. Следж-хоккеисты, как и хоккеисты, страдают от острых и хронических растяжений, переломов, рваных ран. Наиболее распространенные тяжелые травмы в следж-хоккее – это сотрясение головного мозга (36,2 %) и переломы костей (8,5 %) (Sobry et al., 2022). Наиболее часто травмируемые места – голова (34,0 %), запястье и кисти рук (14,8 %), плечо (10,6 %). Иногда имеются случаи травматизма других частей тела, в том числе мягких тканей бедер или голеней (Hawkeswood et al., 2011).

На международных соревнованиях, таких как чемпионаты мира и Европы, Паралимпийские игры, травматизм в следж-хоккее значительно выше, чем на соревнованиях по другим адаптивным видам спорта. Например, на Паралимпиаде в Ванкувере (2010 г.) частота травм в следж-хоккее составила 34 %, горных лыжах – 22 %, керлинге на колясках – 18 %, лыжных гонках – 19 % (Webborn et al., 2012). В статье (Song et al., 2020) следж-хоккей по числу спортивных травм, наряду с горнолыжным спортом, определен как самый рискованный вид адаптивного спорта. По данным (Wu et al., 2022), на Паралимпиадах частота получения травм в следж-хоккее была в среднем в 2,2 раза выше, чем в горнолыжном спорте, в котором спортсмены также имеют высокую вероятность получения травм. Для спортсменов, выступающих на любительском уровне, риск и характер получения травм примерно такой же, как и профессиональных следж-хоккеистов (Soo Hoo et al., 2019). Для снижения травматизма необходима разработка и производство удобной защитной

экипировки и одежды для следж-хоккеистов. В отдельных странах (Park et al., 2016) проводятся исследования по заказу государства по поиску инновационных решений в защитной экипировке и одежде для следж-хоккея с учетом биомеханических и физиологических особенностей спортсменов, но пока данная проблема продолжает оставаться актуальной.

Известно, что спортсмены-колясочники, длительно использующие мышцы пояса верхних конечностей для передвижения на механических колясках с ручным приводом, подвержены хроническим болям в плечевом поясе (Neuward et al., 2017; Mason et al., 2020). Возникает вопрос: усиливаются или нет болевые симптомы в плечевом поясе систематически занимающихся следж-хоккеем инвалидов-колясочников, которые в повседневной жизни перемещаются на колясках с ручным приводом? В статье (Spangenberg et al., 2021) для спортсменов элитного уровня показана связь возникновения болей плечевого пояса с избыточным весом, возрастом и длительностью применения коляски на ручном приводе. Однако, по мнению данных авторов, в настоящее время нет достоверных результатов исследований о том, что занятия следж-хоккеем приводят к усилению хронических болей в плечевом поясе.

Таким образом, для снижения уровня травматизма в следж-хоккее предлагается, во-первых, продолжить разработку эффективной защитной экипировки и поиск новых методик тренировок, обеспечивающих укрепление физического здоровья спортсменов. Во-вторых, сформировать программы профилактики и лечения травм на основе современных исследований биомеханики двигательной деятельности в следж-хоккее (Fairbairn, Nuxel Bliven, 2019). В-третьих, реализовывать стратегию профилактики травматизма в следж-хоккее с привлечением образовательных программ

для тренеров, игроков, родителей. Реализация образовательных программ по профилактике травматизма должна быть основана на комплексном и междисциплинарном подходе (Oh et al., 2019). В целом фундаментальное понимание физиологических и медицинских рисков имеет первостепенное значение для обеспечения безопасного следж-хоккея и защиты здоровья спортсменов.

Методические ограничения биолого-медицинских исследований следж-хоккеистов

В доступной нам литературе указывается на острую необходимость проведения биолого-медицинских исследований следж-хоккеистов (Fagher et al., 2022). Иначе может быть поставлена под сомнение эффективность и целесообразность нынешних тренировочных практик (Dehghansai et al., 2017). Однако получение достоверных результатов остается сложной задачей из-за ограниченности выборки в сочетании с разнообразием нозологических групп физических и ментальных ограничений у игроков. Также некорректно экстраполировать результаты, полученные для игроков в хоккее на льду, на следж-хоккеистов. Поэтому для формулирования общих заключений и выводов для следж-хоккея следует накапливать и анализировать объединенные данные, полученные разными авторами в исследованиях на относительно небольших выборках.

Возможности применения общепринятых методов контроля при исследованиях функционального состояния следж-хоккеистов с поражением нижних конечностей весьма ограничены. В доступной нам литературе представлены некоторые примеры использования технических средств и систем. Например, многомерного видеоанализа и фотоэлементов (Sandbakk et al., 2014b), системы D&K-TEST для развития скоростно-силовых качеств (Лазаренко, Каман-

цев, 2017), системы Firstbeat для мониторинга показателей физической работоспособности и функциональных возможностей (Баряев и др., 2020). Некоторые авторы (Лазаренко, Кожевников, 2023) предлагают применять методы исследований, не требующие измерений при активном движении следж-хоккеиста. В целом поиск адекватных мониторинговых тест-систем – важнейшая задача на пути прогресса в решении биолого-медицинских проблем в следж-хоккее.

Заключение

В следж-хоккее пропагандируется гуманистическая модель развития личности, при которой одинаково ценятся спортивные достижения, укрепление здоровья и благополучие спортсменов. В регулярных занятиях следж-хоккеем необходимо находить баланс между улучшением спортивных результатов и повышенным риском травм и заболеваний

для лиц с различными нозологическими нарушениями. Поэтому тренировочную и спортивную деятельность в следж-хоккее следует рассматривать с учетом различных биолого-медицинских аспектов, таких как физиологическая адаптация, биомеханические особенности движения, эпидемиологическая ситуация и др. Особое внимание следует уделить физиолого-биохимическому обоснованию тренировочной деятельности следж-хоккеистов, которая должна быть основана на фундаментальной концепции гомеостатической регуляции, стрессовой адаптации и принципа суперкомпенсации. Предлагаемые рекомендации направлены на дальнейшее развитие следж-хоккея – этой популярной среди болельщиков спортивной командной игры, выполняющей благородную функцию социализации и повышения качества жизни людей с ограниченными физическими возможностями.

Список литературы / References

Баряев А. А., Иванов А. В., Арансон М. В. (2020) Контроль функционального состояния юных спортсменов в хоккее-следж. *Теория и практика физической культуры*, 7: 45–47 [Baryayev A. A., Ivanov A. V., Aranson M. V. (2020) Functionality monitoring in youth sledge hockey. *Theory and Practice of Physical Culture*, 7: 39–41 (in English)]

Иванов А. В., Баряев А. А., Бадрок К. А. (2018) Особенности тренировочного процесса высококвалифицированных следж-хоккеистов в подготовительном периоде. *Адаптивная физическая культура*, 3: 22–24 [Ivanov A. V., Baryayev A. A., Badrak K. A. (2018) Features of the training process for highly qualified sledge hockey players in the preparatory period. *Adaptive Physical Education* [Adaptivnaya fizicheskaya kul'tura], 3: 22–24 (in Russian)]

Колмаков В. И., Картавцева А. И., Составнев И. В. (2024) Международный опыт социальной реабилитации травмированных и раненых участников боевых действий на основе физической активности и адаптивного спорта. *Журнал Сибирского федерального университета. Гуманитарные науки*, 17(2): 374–389 [Kolmakov V. I., Kartavtseva A. I., Sostavnev I. V. (2024) International experience of social rehabilitation of injured and wounded military based on physical activity and adaptive sports. *Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences*, 17(2): 374–389 (in Russian)]

Кононов В. А., Андрейченко В. Е., Белоусов Е. А., Ефремов А. С. (2023) Особенности организации и проведения реабилитации с военнослужащими, пострадавшими в ходе боевых действий, посредством следж-хоккея. *Актуальные проблемы оздоровительной и адаптивной физической культуры и спорта и пути их решения: Сборник научных статей Межвузовской*

научно-практической конференции. Санкт-Петербург, с. 66–69 [Kononov V. A., Andreychenko V. E., Belousov E. A., Efremov A. S. (2023) Features of organizing and carrying out rehabilitation with military service, victims during combat, actions through slage hockey. *Current problems of health-improving and adaptive physical culture and sports and ways to solve them: Collection of scientific articles of the Interuniversity scientific-practical conference*. St. Petersburg, p. 66–69 (in Russian)]

Лазаренко В. Г., Каманцев В. А. (2017) К проблеме определения уровня развития физических качеств в следж-хоккее. *Адаптивная физическая культура*, 2: 27–29 [Lazarenko V. G., Kamantsev V. A. (2017) To the problem of the determination of physical qualities development level in sledge hockey. *Adaptive Physical Education* [Adaptivnaya fizicheskaya kul'tura], 2: 27–29 (in Russian)]

Лазаренко В. Г., Кожевников В. С. (2023) Специальная выносливость и особенности энергообеспечения работы спортсменов в следж-хоккее. *Адаптивная физическая культура*, 1: 42–45 [Lazarenko V. G., Kozhevnikov V. S. (2023) Strength qualities, special endurance and features of energy supply of athletes' work in sledge hockey. *Adaptive Physical Education* [Adaptivnaya fizicheskaya kul'tura], 1: 42–45 (in Russian)]

Нотова С. В., Кияева Е. В., Ермакова Н. В., Казакова Т. В., Маршинская О. В. (2018) Элементный и биохимический профиль спортсменов с ограниченными физическими возможностями. *Экология человека*, 6: 52–58 [Notova S. V., Kiyayeva E. V., Ermakova N. V., Kazakova T. V., Marshinskya O. V. (2018) The elemental and biochemical profiles of disabled athletes. *Human Ecology* [Ekologiya cheloveka], 6: 52–58 (in Russian)]

Baumgart J. K., Sandbakk O. (2016) Laboratory determinants of repeated-sprint and sport-specific-technique ability in world-class ice sledge hockey players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(2): 182–190

Baumgart J. K., Brurok B., Sandbakk O. (2018) Peak oxygen uptake in Paralympic sitting sports: A systematic literature review, meta- and pooled-data analysis. *PLoS One*, 13(2): e0192903

Berthold J., Dicianno B. E., Cooper R. A. (2013) Pressure mapping to assess seated pressure distributions and the potential risk for skin ulceration in a population of sledge hockey players and control subjects. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 8(5): 387–391

Blauwet C. A., Borgstrom H. E., Tenforde A. S. (2019) Bone health in adaptive sports athletes. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 27(2): 60–66

Busanich R., McAfee E. (2023) Magic carpet ride: A narrative exploration of disability and adaptive physical activity. *Case Studies in Sport and Exercise Psychology*, 7(1): 55–62

Clarsen B., Steffen K., Berge H. M., Bendiksen F., Fossan B., Fredriksen H., Gjelsvik H., Haugvad L., Kjelsberg M., Ronsen O., Torgalsen T., Walløe A., Bahr R. (2021) Methods, challenges and benefits of a health monitoring programme for Norwegian Olympic and Paralympic athletes: the road from London 2012 to Tokyo 2020. *British Journal of Sports Medicine*, 55: 1342–1349

D'Angelo S., Rosa R. (2020) Oxidative stress and sport performance. *Sport Science*, 13(Suppl 1): 18–22

Darrah S. D., Dicianno B. E., Berthold J., McCoy A., Haas M., Cooper R. A. (2016) Measuring static seated pressure distributions and risk for skin pressure ulceration in ice sledge hockey players. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 11(3): 241–246

Declerck L., Kaux J.-F., Vanderthommen M., Lejeune Th., Stoquart G. (2019) The effect of adaptive sports on individuals with acquired neurological disabilities and its role in rehabilitation: A systematic review. *Current Sports Medicine Reports*, 18(12): 458–473

- Dehghansai N., Lemez S., Wattie N., Baker J. (2017) A systematic review of influences on development of athletes with disabilities. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 34(1): 72–90
- Derman W., Schweltnus M. P., Jordaan E., Runciman P., Van de Vliet P., Blauwet C., Webborn N., Willick S., Stomphorst J. (2016) High incidence of injury at the Sochi 2014 Winter Paralympic Games: a prospective cohort study of 6564 athlete days. *British Journal of Sports Medicine*, 50(17): 1069–1074
- Diaz R., Miller E. K., Kraus E., Fredericson M. (2019) Impact of adaptive sports participation on quality of life. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 27(2): 73–82
- Di Domenico H., Beaume J. B., Peyrard A., Samozino P., Bowen M., Hintzy F., Millet G. P., Hayes M., Lapole T., Rupp T. (2022) Neuromuscular fatigability during repeated sprints assessed with an innovative cycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology*, 122(5): 1189–1204
- Dutton R. A. (2019) Medical and musculoskeletal concerns for the wheelchair athlete: A review of preventative strategies. *Current Sports Medicine Reports*, 18(1): 9–16
- Egan B., Sharples A. P. (2023) Molecular responses to acute exercise and their relevance for adaptations in skeletal muscle to exercise training. *Physiological Reviews*, 103(3): 2057–2170
- Fagher K., Baumgart J. K., Solli G. S., Holmberg H. C., Lexell J., Sandbakk O. (2022) Preparing for snow-sport events at the Paralympic Games in Beijing in 2022: recommendations and remaining questions. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 8(1): e001294
- Fairbairn J. R., Huxel Bliven K. C. (2019) Incidence of shoulder injury in elite wheelchair athletes differ between sports: A critically appraised topic. *Journal of Sport Rehabilitation*, 28(3): 294–298
- Flockhart M., Larsen F. J. (2023) Continuous glucose monitoring in endurance athletes: Interpretation and relevance of measurements for improving performance and health. *Sports Medicine* (Online ahead of print)
- Franca E. F., Antunes A., da Silva A. C., Guerra M. L. M., Cossote D. F., Bonfim J. C. O. (2022) Concepts and principles of sports training: A narrative review based on the classic literature of reference. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*, 9(1): 214–217
- Furrer R., Hawley J. A., Handschin C. (2023) The molecular athlete: exercise physiology from mechanisms to medals. *Physiological Reviews*, 103(3): 1693–1787
- Gal A. M. (2017) *Biomechanical analysis of the stroking cycle in the sport of sledge hockey. Thesis: Postdoctoral dissertation*. Carleton University, Ottawa, Ontario, 241 p.
- Goldman P., Pandit B., Gomez D., Lu S., Mills C., Kull N., Ku R., Aramie A., Kim A., Alexandru A., Hu J., Neufeld E. V., Dolezal B. (2022) Effect of real-time feedback on power output using a novel smart-resisted sled push. *International Journal of Exercise Science*, 15(6): 1578–1586
- Hawkeswood J., Finlayson H., O'Connor R., Anton H. (2011) A pilot survey on injury and safety concerns in international sledge hockey. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 6(3): 173–185
- Hawley J. A., Lundby C., Cotter J. D., Burke L. M. (2018) Maximizing cellular adaptation to endurance exercise in skeletal muscle. *Cell Metabolism*, 27(5): 962–976
- Hendrickse P. W., Venckunas T., Platkevicius J., Kairaitis R., Kamandulis S., Snieckus A., Stasiulis A., Vitkiene J., Subocius A., Degens H. (2021) Endurance training – induced increase in muscle oxidative capacity without loss of muscle mass in younger and older resistance – trained men. *European Journal of Applied Physiology*, 121(11): 3161–3172
- Heyward O. W., Vegter R. J. K., de Groot S., van der Woude L. H. V. (2017) Shoulder complaints in wheelchair athletes: a systematic review. *PLoS One*, 12(11): e0188410

Jung E.-J., Jang L.-G., Choi G.-H., Park H. (2017) Core and body surface temperature changes during sledge hockey competition. *Korean Journal of Sports Science*, 26(2): 1037–1044

Leuchtmann A. B., Mueller S. M., Aguayo D., Petersen J. A., Ligon-Auer M., Fluck M., Jung H. H., Toigo M. (2020) Resistance training preserves high-intensity interval training induced improvements in skeletal muscle capillarization of healthy old men: a randomized controlled trial. *Scientific Reports*, 10: 6578

Liang Y. (2020) *Analysis and algorithms for parametrization, optimization and customization of sled hockey equipment and other dynamical systems. Thesis: Ph.D.* Massachusetts Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering, 168 p.

Luijten S., te Loo L., Nauta J., Janssen T., Holla J., Otten R., Vriend I., Verhagen E. (2021) Sports injuries in adapted sports: a systematic review with quality assessment. *British Journal of Sports Medicine*, 55(Suppl 1): A171

Lund Ohlsson M., Laaksonen M. S. (2017) Sitting position affects performance in cross-country sit-skiing. *European Journal of Applied Physiology*, 117(6): 1095–1106

Martin Ginis K. A., van der Ploeg H. P., Fosrer C., Lai B., McBride C. B., Ng K., Pratt M., Shirazipour C. H., Smith B., Vasquez P. M., Heath G. W. (2021) Participation of people living with disabilities in physical activity: a global perspective. *Lancet*, 398(10298): 443–455

Mason B., Warner M., Briley S., Goosey-Tolfrey V., Vegter R. (2020) Managing shoulder pain in manual wheelchair users: a scoping review of conservative treatment interventions. *Clinical Rehabilitation*, 34(6): 741–753

McKinnon A., Bassett-Gunter R. L., Fraser-Thomas J., Arbour-Nicitopoulos K. P. (2022) Understanding sport as a vehicle to promote positive development among youth with physical disabilities. *Journal of Sport for Development*, 10(2): 55–71

Morrien F., Taylor M. J. D., Hettinga F. J. (2017) Biomechanics in Paralympics: implications for performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(5): 578–589

Napolitano J., Iliescu D., Hoehn J., Berner T., Meyer C., Jackson K., Kemp E. (2021) Athlete identity and common benefits and barriers to sport participation amongst adolescent sled hockey players. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(7_suppl 3)

Naveed S. (2023) *Dynamical systems analysis and algorithms for optimizing sled hockey equipment and other applications. Thesis: Postdoctoral dissertation.* University of California, California, 20 p.

Oh H., Johnson W., Syrop I. P. (2019) Winter adaptive sports participation, injuries, and equipment. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 27(2): 56–59

O’Leary T. J., Collett J., Howells K., Morris M. G. (2017) Endurance capacity and neuromuscular fatigue following high- vs moderate-intensity endurance training: A randomized trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(12): 1648–1661

Park S., Um S., Park J. (2016) Jersey design and pattern making for disable players of ice sledge hockey. *Journal of Fashion Business*, 20(3): 43–53

Pellegrini B., Hettinga F. J., Mourot L. D., Vernillo G., Schena F. (2023) State of the art perspectives of sports science in the run-up to the Milano Cortina 2026 Olympic Winter Games. *Sport Sciences for Health*, 19(4): 1039–1042

Raichlen D. A., Alexander G. E. (2017) Adaptive capacity: an evolutionary neuroscience model linking exercise, cognition, and brain health. *Trends in Neurosciences*, 40(7): 408–421

- Ralph K., Morris E. A., Kwon J. (2022) Disability, access to out-of-home activities, and subjective well-being. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 163: 209–227
- Ripat J., Sibley K. M., Giesbrecht E., Curtis B., Touchette A., Borisoff J., Ethans K., Li Y., Morales E. (2020) Winter mobility and community participation among people who use mobility devices: A scoping review. *Archives of Rehabilitation Research and Clinical Translation*, 2(1): 100018
- Rosso V., Cinus G., Gastaldi L. (2020) Laboratory and on ice tests to evaluate kinematics of Para ice hockey players. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 234(2): 176–187
- Sandbakk O., Hansen M., Ettema G., Ronnestad B. (2014a) The effects of heavy upper-body strength training on ice sledge hockey sprint abilities in world class players. *Human Movement Science*, 38: 251–261
- Sandbakk O., Spencer M., Ettema G., Sandbakk S.B., Skovereng K., Welde B. (2014b) The physiology and biomechanics of upper-body repeated sprints in ice sledge hockey. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(1): 77–84
- Sandbakk O., Skalvik T. F., Spencer M., van Beekvelt M., Welde B., Hegge A. M., Gjovaag T., Ettema G. (2015) The physiological responses to repeated upper-body sprint exercise in highly trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 115(6): 1381–1391
- Sawczuk D., Gac P., Poreba R., Poreba M. (2023) The prevalence of cardiovascular diseases in paralympic athletes. *Healthcare*, 11(7): 1027
- Skovereng K., Ettema G., Welde B., Sandbakk O. (2013) On the relationship between upper-body strength, power, and sprint performance in ice sledge hockey. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(12): 3461–3466
- Smith B., Kirby N., Skinner B., Wightman L., Lucas R., Foster C. (2019) Infographic. Physical activity for disabled adults. *British Journal of Sports Medicine*, 53(6): 335–336
- Sobry A. J., Kolstad A. T., Janzen L., Black A. M., Emery C. A. (2021) Injury rates, types and mechanisms in sledge hockey: implications for grassroots through elite participation. *British Journal of Sports Medicine*, 55(Suppl 1): A171–A172
- Sobry A. J., Kolstad A. T., Janzen L., Black A. M., Emery C. A. (2022) Concussions and injuries in sledge hockey: Grassroots to elite participation. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 32(5): e478–e484
- Song Y.-G., Won Y. H., Park S.-H., Ko M.-H., Seo J.-H. (2015) Changes in body temperature in incomplete spinal cord injury by digital infrared thermographic imaging. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 39(5): 696–704
- Song Y., Zhang W., Zhao L., Sun D., Huang Y., Gu Y. (2020) Sports-related injuries sustained by disabled athletes in Winter Paralympic Games: A systematic review. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, 10(5): 1136–1143
- Soo Hoo J. A., Latzka E., Harrast M. A. (2019) A descriptive study of self-reported injury in non-elite adaptive athletes. *PM&R*, 11(1): 25–32
- Spangenberg J., Nussbaum R., Chen L., Jayabalan P. (2021) Risk factors for the development of shoulder pain in elite sled hockey players. *PM&R*, 13(12): 1392–1398
- Spriet L. L. (2022) Anaerobic metabolism during exercise. *Exercise Metabolism. Physiology in Health and Disease*. McConell G. (ed.) Springer, Cham, p. 51–70
- Steffen K., Clarsen B., Cjelsvik H., Haugvad L., Koivisto-Mork A., Bahr R., Berge H. M. (2022) Illness and injury among Norwegian Para athletes over five consecutive Paralympic Summer and Winter

Games cycles: prevailing high illness burden on the road from 2012 to 2020. *British Journal of Sports Medicine*, 56(4): 204–212

Tornero-Aguilera J. F., Jimenez-Morcillo J., Rubio-Zarapuz A., Clemente-Suarez V. J. (2022) Central and peripheral fatigue in physical exercise explained: A narrative review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7): 3909

Varahra A., Ahmed H., Lindsay S. (2022) Exploring direct and indirect associations of exercise and sport participation with employment among individuals with disabilities: A scoping review. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 32(1): 44–54

Weavil J. C., Amann M. (2019) Neuromuscular fatigue during whole body exercise. *Current Opinion in Physiology*, 10: 128–136

Webborn N., Willick S., Emery C. A. (2012) The injury experience at the 2010 Winter Paralympic Games. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 22(1): 3–9

Worden-Rogers C. (2012) *Effect of sledge hockey configuration on sledge hockey performance*. Electronic Thesis and Dissertation Repository, 86 p.

Wu F., Liu Y., Zhuang M. (2022) Lessons from the Winter Paralympic Games disclosing the epidemiology of winter sports injury in paralytic athletes: a meta-analysis. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 14: 53

Zapf A. D., Joyce J. P. (2018) Ice sled hockey (sledge hockey outside the United States). *Adaptive sports medicine*. De Luigi A. (ed.) Springer, Cham, p. 245–249