



Министерство спорта и туризма Республики Беларусь

Белорусский государственный университет физической культуры
Центр координации научно-методической и инновационной
деятельности
Информационно-аналитический отдел

Материалы по вопросам научного сопровождения
подготовки спортсменов высокого класса и резерва

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ СПОРТИВНОГО РЕЗЕРВА В ХОККЕЕ С ШАЙБОЙ

Научно-практическая конференция
Информационно-аналитические материалы
05.2024



Физиологические параметры современного хоккея с шайбой 4

Разуванов Владимир Михайлович,
ведущий специалист информационно-аналитического отдела центра
координации научно-методической и инновационной деятельности

Влияние технологического прогресса на подготовку хоккеистов 21

Дарануца Кристина Сергеевна,
начальник информационно-аналитического отдела центра координации
научно-методической и инновационной деятельности

Анализ зарубежной публикации

Травмы главных судей и лайнсменов в хоккее с шайбой: по результатам опроса судей Международной федерации хоккея с шайбой 28

Injuries to Ice Hockey Referees and Linesmen: A Survey of International Ice Hockey Federation Officials / CH. A. Popkin [et al.] // Orthopaedic Journal of Sports Medicine. – New York, USA, 2022.– № 9 (10). – P. 1–8.

Перевод: Л.И. Кипчакбаева, ведущий специалист центра координации научно-методической и инновационной деятельности.

Разуванов Владимир Михайлович, ведущий специалист информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

В современном спорте, включая хоккей с шайбой, физиологические аспекты приобретают все большее значение, что связано со все возрастающими нагрузками, высочайшим темпом игры. Понимание физиологических параметров игры и игроков позволяет тренерам оптимизировать тренировочные процессы, улучшать физическую подготовку, совершенствовать технико-тактические модели игры.

Материал представленной обзорной статьи обобщает данные современных исследований, посвященных анализу ключевых физиологических аспектов хоккея с шайбой, что делает материал актуальным для широкого круга специалистов, включая тренеров, тренеров по физической подготовке, спортивных медиков и др.

Общая средняя дистанция, преодолеваемая игроками во время хоккейного матча на высшем уровне составляет 4–6 км и зависит, прежде всего, от времени нахождения хоккеиста на льду, его игровой позиции, а также индивидуальной тактической роли [37, 14]. Это относительно небольшое расстояние по сравнению с другими командными видами спорта (футбол, регби и др.), где преодолеваются существенно большие расстояния [7, 20]. Однако уникальной особенностью хоккея является то, что около 50 % игровой дистанции преодолевается на высоких скоростях (>17 км/ч), включая множество интенсивных ускорений и замедлений, технических действий и физических контактов. Исследования с использованием многокамерной полуавтоматической системы продемонстрировали, что из средней общей дистанции $\sim 4,6$ км за одну игру НХЛ более 2,2 км были преодолены с превышением порога высокой интенсивности катания (> 17 км/ч). Также было зафиксировано 113 игровых схваток высокой интенсивности (4–10 схваток в минуту) со средней преодолеваемой дистанцией 15–26 м (рывковые усилия 3–5 с.), что представляет собой высокоинтенсивную работу даже без учета физиологически тяжелых ускорений, замедлений и активных движений верхней части тела, существенно повышающих нагрузку, переносимую игроком [37].

Такого рода модель высокоинтенсивной нагрузки особенно проявлялась у нападающих, катание которых проходило в высокоинтенсивной зоне на 54 % дольше по сравнению с защитниками, тогда как общее время на льду и общее пройденное расстояние были выше в последней группе. Исследования недвусмысленно указывают на то, что ключевой характеристикой действий нападающих является интенсивность, что отражается в более коротких и менее частых сменах на льду по сравнению с защитниками, при том, что характеристики подготовленности игроков с данными амплуа выражены не столь разительно [73, 57].

Следует отметить, что категоризация требований к хоккеистам на основе пройденного расстояния неадекватно фактическому физиологическому стрессу, переносимому игроками с различным амплуа, поскольку игра включает в себя достаточно длительные скольжения по льду, обеспечивающие накопление дистанции при весьма небольших нагрузках, что отличает хоккей от других командных видов спорта с иными локомоциями. Напротив, предварительная и последующие фазы ускорения и замедления могут быть чрезвычайно тяжелыми, включая как эксцентрические, так и концентрические действия мышц с большой мощностью, особенно во время резкой смены направления движений [24].

В связи с этим профили ускорений и замедлений, а также иных тактико-технических действий хоккеистов (силовая борьба, удары, борьба в отборе шайбы и др.) должны подвергаться углубленному анализу и иметь приоритет перед моделями движений на основе пройденного расстояния. К сожалению, традиционные системы отслеживания игроков и методы прямой оценки физиологических реакций на хоккейный матч не дают полного представления о физиологическом воздействии специфических хоккейных нагрузок.

В целом хоккейный матч включает в себя ряд отдельных высокоинтенсивных действий, влияющих на игроков и способствующих утомлению во время смен и между периодами, а также требующих активации и интеграции как аэробных, так и анаэробных энергетических систем.

Рассмотрим более подробно вклад *аэробной энергетической системы*.

Во время хоккейного матча аэробная энергетическая система существенно активизируется, о чем свидетельствует средняя частота сердечных сокращений на льду, составляющая ~85 % от максимальной [57, 72], а также пиковые значения ЧСС на максимальных или околомаксимальных уровнях. Это происходит несмотря на начальную задержку активации аэробной энергетической системы, о чем свидетельствует прогрессивное увеличение ЧСС во время каждой смены, которая затем постепенно снижается до умеренно низкого уровня в течение последующих периодов пассивного восстановления [41]. Таким образом, даже несмотря на то, что потребление кислорода мышцами начинается уже в течение первых нескольких секунд интенсивных упражнений, для достижения максимального уровня потребления кислорода требуется около 45 секунд, хотя этот процесс значительно ускоряется во время повторяющихся интенсивных усилий [8].

Постепенная активация аэробной энергетической системы означает, что, хотя вклад окислительного фосфорилирования в течение одного 6-секундного спринта ограничено (~10 %), оно существенно растет во время повторных усилий, достигая 40–50 % от общего энергообеспечения [26], что происходит одновременно со снижением гликолитического энергообеспечения и снижением толерантности к физической нагрузке. Более того, хотя хоккей с шайбой представляет собой интервальный спринтерский вид спортивной деятельности, некоторые действия выполняются с интенсивностью меньше максимальной и с частыми перерывами в игре во время смен, остановок, розыгрышей стандартных положений и т. п., что обеспечивает более высокий относительный вклад аэробной энергетической системы.

Высокая аэробная мощность и скорость включения в энергообмен кислорода может способствовать снижению анаэробного компонента и, вследствие этого, смягчению серьезных метаболических нарушений внутриклеточной среды, вызываемых анаэробными процессами, задерживая развитие утомления [12].

Эта концепция согласуется с результатами исследования, в котором рост МПК за счет введения эритропоэтина приводил к снижению накопления лактата в крови во время высокоинтенсивных упражнений [4], тогда как снижение доступности кислорода ухудшало работоспособность и повышало концентрацию лактата [6].

Способность быстро восстанавливаться между сменами и в ходе напряженной работы во время смен – неотъемлемая черта высококвалифицированных хоккеистов. В этом отношении аэробная энергетическая система является основным фактором, определяющим восстановление работоспособности между высокоинтенсивными интервальными нагрузками, при этом решающее значение имеет ресинтез креатинфосфата [29].

Хотя ресинтез креатинфосфата непосредственно не зависит от кислорода, он полностью блокируется, когда доставка кислорода в мышцы прекращается из-за локальной окклюзии кровообращения в сочетании с быстрым снижением гликолитической активности, возникших на фоне утомления после тяжелой нагрузки [6]. В экспериментальной работе [64] был перекрыт приток крови к одной ноге в период между интервальными 30-секундными высокоинтенсивными нагрузками, что привело к устойчиво низкой концентрации креатинфосфата и существенно снизило работоспособность. В подтверждение этих данных сообщается о тесной корреляции между потреблением кислорода на уровне лактатного порога и скоростью ресинтеза креатинфосфата после изнурительного спринта, при этом после тренировок на аэробную выносливость кинетика восстановления креатинфосфата значительно возрастает [64]. Приведенные данные выглядят достаточно логично, однако результаты не являются однозначными: отдельные исследования сообщают об отсутствии связи между МПК и скоростью ресинтеза креатинфосфата у участников, распределенных в группы с высоким или низким МПК, что позволяет предположить, что МПК не является сильным предиктором ресинтеза креатинфосфата [19].

В соответствии с приведенными выше аргументами в пользу важной роли аэробной выносливости для выполнения повторных спринтов (в дополнение к множеству других компонентов), хоккеисты как правило, обладают относительно высокими показателями МПК, составляющими 55–60 мл/кг/мин, вполне сравнимыми с классическими видами спорта с преобладанием аэробной активности, несмотря на большую массу тела [37]. Однако в ходе тестирования повторных спринтов, специфичных для хоккея с шайбой, было обнаружено, что аэробная способность в значительной степени связана с индексом утомления (снижение работоспособности от первого до последнего спринта) только в некоторых [58], но не во всех исследованиях [16]. Эти противоречивые результаты аналогичны общенаучной литературе по высокоинтенсивным упражнениям, где связь между аэробными способностями и способностью к повторным спринтам сообщается в некоторых [10], но далеко не во всех исследованиях [74].

Указанное несоответствие может быть связано со многими аспектами, включая индекс усталости от начального спринта (быстрый начальный спринт связан с повышенной утомляемостью во время последующих спринтов), соотношением работы и отдыха и, следовательно, аэробного вклада, применением специальных повторных спринтерских тестов, а также исследованиями на относительно однородных выборках участников.

Более того, было высказано предположение, что основным компонентом аэробной энергетической системы, влияющим на восстановление после многократных спринтерских тренировок является окислительная способность мышц. Последняя определяется параметрами мышечного фенотипа, такими как содержание и функция митохондрий [62] максимальной активностью окислительных ферментов [32] и плотностью капилляров [61], а не МПК как таковым, который, как считается, в первую очередь связан с кислородтранспортной функцией [9].

Так, в исследовании Брошери с соавт. масса гемоглобина не была связана с показателями результатов в многократных спринтах [13], кроме того, скорость роста потребления кислорода в начале тренировки может иметь первостепенное значение во время повторяющихся спринтерских нагрузок, особенно в сочетании с длительными периодами пассивного отдыха, присущими хоккейным матчам.

Соответственно, было показано, что динамика потребления кислорода тесно связана с производительностью как во время высокоинтенсивных прерывистых, так и повторных спринтерских тестов и в целом коррелирует со снижением результатов высокоинтенсивных интервальных нагрузок после прекращения спортивных тренировок [50], хотя и не без противоречий [15].

Наконец, неоднозначные данные, связанные с МПК и результатами повторных спринтов, могут отражать сложную энергетику данного процесса, зависящую как от аэробных, так и анаэробных систем, а также от иных факторов, обуславливающих устойчивость к утомлению: буферные системы, поддержание ионного гомеостаза и т. д., морфология мышц, состав тела, паттерны нервно-мышечной активации и многое другое.

В этом отношении скоростные качества сами по себе, очевидно, очень важны как для одиночных, так и для многократных спринтерских нагрузок, и как было показано, они отличают хоккеистов высокого уровня и являются наиболее чувствительным физическим качеством, снижающимся на последних стадиях спортивной карьеры [69].

Таким образом, аэробная энергетическая система серьезно активизируется во время хоккейных матчей и достаточно хорошо (но не экстраординарно) развита у игроков высшей квалификации, включая МПК, окислительную способность мышц и скорость адаптации к увеличению потребности в энергии (скорость роста потребления кислорода). Тем не менее множество факторов явно взаимодействуют, определяя работоспособность в режиме высокоинтенсивных хоккейных нагрузок, о чем свидетельствуют различия в результатах повторных спринтов у спортсменов с преимущественной направленностью на выносливость и спортсменов, занимающихся командными видами спорта, даже при сопоставимых уровнях МПК [11].

Анаэробный метаболизм

В хоккейных матчах короткие периоды сверхмаксимальной активности часто накладываются на периодические нагрузки с интенсивностью ниже или около МПК. Таким образом, помимо большого аэробного вклада в выработку энергии, анаэробные энергетические системы серьезно активируются в течение каждой хоккейной смены. Более того, первоначальная задержка в максимальной активации поглощения кислорода приводит к большей зависимости от анаэробного обеспечения АТФ в начале каждой смены и во время внезапных колебаний интенсивности нагрузок, постоянно происходящих во время хоккейных матчей.

Лабораторные оценки показали, что в течение максимального 6-секундного усилия снабжение АТФ обеспечивается почти поровну между деградацией креатинфосфата и гликолизом, причем оба процесса активируются мгновенно в начале нагрузки, а последний достигает максимальных значений в течение 5–6 секунд. Последующее взаимодействие энергетических систем во время интервальных нагрузок во многом зависит от соотношения работы и отдыха, при этом обеспечивается достаточное время для ресинтеза креатинфосфата, что приводит к росту относительного вклада фосфагенной системы, в то время как скорость гликолиза снижается одновременно со снижением толерантности к физической нагрузке и ростом зависимости от окислительного метаболизма [26, 46].

Во время кратковременных интенсивных усилий, характерных для хоккейных матчей, запасы креатинфосфата могут существенно снижаться, – значительное снижение (~50–75 %) было зафиксировано после максимальных усилий примерно в течение 6–10 с в лабораторных условиях [26, 46]. Это обуславливает необходимость постоянного пополнения запасов данного энергосубстрата во время кратковременных периодов полного или относительного покоя в течение смены и в последующие периоды пассивного восстановления, когда АТФ становится доступным, а способность к быстрому ресинтезу креатинфосфата приобретает решающее значение.

Тем не менее данные о мышечной энергетике во время реальных хоккейных матчей, позволяющие прояснить закономерности истощения и пополнения запасов креатинфосфата в мышцах весьма ограничены. Только в одном исследовании была предпринята попытка получить биопсию мышц в непосредственной близости от места хоккейного матча в экспериментальной игре сборной Дании (U20). В работе сообщалось о низких индивидуальных концентрациях креатинфосфата до 35 ммоль/кг сухого веса, несмотря на задержку отбора проб ~30–45 с, что указывает на выраженное истощение внутримышечных запасов сразу после интенсивных тренировок на льду, как и следовало ожидать на основании лабораторных оценок [26].

Таким образом, кинетика восстановления креатинфосфата после интенсивных нагрузок характеризуется биэкспоненциальной зависимостью – наблюдается паттерн с высокой начальной скоростью, за которой следует последующее выравнивание, что позволяет осуществлять значительный ресинтез креатинфосфата в течение первых 30–60 секунд восстановления, в то время как для

полного восстановления требуется около 4–5 минут, что отражает типичный период «скамейки запасных» [64, 55].

В нескольких исследованиях, с целью получить данные о гликолитической активности, были выявлены концентрации лактата в крови во время и после хоккейных матчей, в частности сообщалось о среднем уровне лактата в крови хоккеистов на уровне 8,4 ммоль/л с индивидуальными пиковыми значениями до 14 ммоль/л [31, 42]. Эти значения аналогичны или немного превышают данные, полученные на других командных видах спорта, включая футбол, и указывают на значительную гликолитическую активность во время хоккейных нагрузок [36].

Однако уровень лактата в крови является производным как скорости его появления, так и утилизации, которые не всегда соответствуют концентрации мышечного лактата во время интервальных высокоинтенсивных упражнений. Например, Круstrup и др. [79] не обнаружили связи между уровнем лактата в мышцах и крови во время футбольного матча, предполагая, что уровень лактата в крови не может быть точным предиктором кинетики лактата в мышцах. В другом исследовании [72] концентрации мышечного лактата в биоптатах мышц, полученные в процессе хоккейного матча, выявили заметно повышенные индивидуальные значения – до 70 ммоль/кг, что явно свидетельствует о высоком уровне гликолитических процессов, однако межиндивидуальные различия также были велики. Более того, хотя средние концентрации лактата в мышцах составляли ~40 ммоль/кг в течение первого периода, эти значения оказались несколько ниже в течение третьего периода (~20 ммоль/кг), хотя концентрации лактата в крови были схожими, что можно объяснить небольшим снижением интенсивности упражнений и/или изменениями мышечного метаболизма.

В подтверждение этих данных, в работе Палмера и др. [45] было обнаружено снижение использования мышечного гликогена в течение третьего периода хоккейного матча, что в целом является обычным явлением, когда нагрузка прогрессирует и запасы мышечного гликогена уменьшаются.

Вероятно, сообщенные данные о мышечном лактате точно отражают фактическую концентрацию лактата в реальном матче на льду, поскольку отток мышечного лактата после интенсивных упражнений представляет собой медленный процесс, продолжающийся несколько минут и, следовательно, нечувствительный к существующей задержке отбора проб.

Результаты схожего порядка были получены во время высокоинтенсивных интервальных упражнений в лабораторных условиях, напоминая структуру активности хоккейного матча – концентрации лактата были значительно ниже после третьего периода по сравнению с первым, несмотря на почти идентичную интенсивность упражнений, тогда как уровни лактата в крови не изменились [70].

Несмотря на ранее указанную диссоциацию между концентрацией лактата в мышцах и крови во время интервальных упражнений, наблюдались значительные корреляции между концентрацией лактата, полученные после периодов 1 и 3, и количеством взрывных усилий в минуту ($r = 0,71$), а также суммы

быстрого, очень быстрого и спринтерского катания ($r = 0,46$) во время экспериментальной игры сборной U20 [72].

В совокупности эти данные ясно указывают на высокую гликолитическую активность во время хоккейных матчей, а также на некоторое ее снижение во время последнего периода.

Энергетические субстраты

Как во время высокоинтенсивных аэробных упражнений, так и при кратковременных спринтерских усилиях, которые доминируют в хоккейных матчах, основным источником энергии являются углеводы, главным образом в форме гликогена, хранящегося в ограниченных количествах в скелетных мышцах и печени. При интенсивности упражнений выше МПК утилизация энергии растет экспоненциально, что приводит к быстрому обеспечению АТФ, но с высокими затратами с точки зрения энергетической эффективности (~ в 10 раз меньше АТФ на молекулу глюкозы) [71].

Это подтверждается измерениями степени деградации мышечного гликогена во время хоккейных матчей, в процессе которых снижение концентрации гликогена в мышцах достигает 60 % и более [31], несмотря на относительно короткое фактическое игровое время. В недавнем исследовании сообщалось о процентном снижении уровня гликогена в мышцах во время экспериментальной игры сборной Дании U20 со стандартным активным игровым временем ~20 минут на игрока [72]. В этой игре все хоккеисты, кроме одного, достигли относительно низкого уровня гликогена – 150–250 ммоль/кг, измеренного либо во время третьего периода, либо после игры, в зависимости от индивидуального времени отбора проб. Важно отметить, что подобный уровень истощения считается критическим для поддержания оптимальной мышечной функции из-за сильного истощения большой доли одиночных волокон обоих основных типов [71]. Следует отметить, что исходный уровень мышечного гликогена до экспериментальной игры национальной сборной U20 был не очень высоким (~400 ммоль/кг), что является обычным явлением для спортсменов, занимающихся командными видами спорта. Эти данные позволяют предположить то, что более высокие значения мышечного гликогена перед игрой могли бы существенно уменьшить истощение, не доводя его до порогового уровня. Вполне возможно, что уровень мышечного гликогена может быть критически снижен, особенно у хоккеистов с игровым временем выше среднего (более 20 минут), тогда как меньшее игровое время вряд ли существенно нарушит запасы гликогена, при условии, что его начальный уровень не был низким. Примечательно, что высокоинтенсивная работа нападающих может привести к тому, что скорость истощения гликогена в этой позиционной группе будет выше, чем у защитников, что также следует принимать во внимание.

По причине выявленной зависимости от углеводов во время хоккейных матчей и существенного истощения гликогена, описанного выше, прием экзогенных углеводов во время хоккея с шайбой может иметь важное значение. Несмотря на это, лишь немногие исследователи изучали влияние добавок углеводов во время тренировок, моделирующих игровую активность в хоккее с шайбой. Таким образом, из-за специфического ритма работы с короткими

сверхинтенсивными интервалами, чередующимися с более длительной продолжительностью пассивного восстановления между сменами и периодами, прием углеводов может обеспечить непрерывный ресинтез гликогена во время перерывов, обеспечив его сохранение. Кроме того, прием углеводов может оказать стимулирующее воздействие на центральную нервную систему, что в конечном итоге приведет к повышению работоспособности [59].

Дэвис с соавт. [21] обнаружили, что во время повторяющихся 1-минутных циклов работы на велоэргометре при 120–130 % от МПК, чередующихся с 3-минутными периодами отдыха, количество завершенных подходов увеличилось с 14 до 21 в группе, принимавшей углеводы, по сравнению с группой, принимавшей плацебо (в данном исследовании упражнения начинались натощак).

Аналогичным образом сообщалось о результатах, подтверждающих положительный эффект приема углеводов во время игры на льду и во время лабораторного моделирования хоккейного матча [45, 38], хотя и без строгих экспериментальных условий, позволяющих сделать твердые выводы о причине и следствии (например, одновременное изучение эффекта умеренного обезвоживания в контрольной группе).

В одном исследовании, изучавшем реальные хоккейные игры, сообщалось о примерно десятипроцентном снижении величины истощения гликогена после приема углеводов (как до, так и во время игры) и аналогичном увеличении дистанции катания [54]. Наконец, было показано, что полоскание рта углеводами улучшает показатели производительности при выполнении высокоинтенсивных хоккейных упражнений (дополнительный период 3 на 3), хотя и без прямого тестирования максимальной работоспособности [44]. Следовательно, эргогенный потенциал приема углеводов перед и во время хоккейных матчей представляет собой интересную область, требующую дальнейшего исследования.

Никаких данных об использовании глюкозы крови во время хоккейных матчей не было, но в целом ее вклад во время упражнений с интенсивностью, близкой или выше МПК относительно невелик [51, 65]. Более того, во время коротких сверхмаксимальных усилий, характерных для хоккея с шайбой, быстрый распад гликогена, приводящий к накоплению глюкозо-6-фосфата, ингибирует утилизацию глюкозы в крови [34]. Соответственно, уровень глюкозы в крови во время хоккейных матчей не снижается до критических уровней. Однако вполне вероятно, что вклад глюкозы в крови несколько растет по мере выполнения упражнений, кроме того увеличивается транслокация белков-переносчиков глюкозы GLUT4 на поверхность клеток, что сопровождается снижением использования мышечного гликогена [34].

Вклад окисления жиров в энергетический баланс при высокой интенсивности упражнений относительно невелик [51, 65], однако периоды отдыха между каждой сменой и периодами все же могут позволить увеличить вклад жиров как источника энергии. Более того, уровень циркулирующих свободных жирных кислот заметно возрастает от первого до последнего периода хоккейного матча, увеличивая их доступность и, возможно, обеспечивая более значительную роль жиров на последних периодах, хотя это до сих пор не подтверждено экспериментально. Наконец, неясно, в какой степени внутримышечные запасы липидов

являются субстратом для ресинтеза АТФ во время интервальных высокоинтенсивных упражнений, но, предположительно, этот вклад незначителен [66].

Модели развития утомления и восстановления

Развитие утомления во время хоккейного матча, как и в других командных видах спорта с наличием перерывов, является очень сложным процессом, при этом, вероятно, взаимодействуют несколько типов утомления.

В хоккее предрасположенность к утомлению весьма значительна из-за интервального высокоинтенсивного характера игры. В лабораторных моделях было показано, что интервальные или кратковременные непрерывные нагрузки при сверхмаксимальной интенсивности приводят к выраженному развитию утомления, – спринтерские усилия на велоэргометре повторяющиеся 10 раз, чередующиеся с 30-секундными периодами восстановления, достигают конечного снижения работоспособности до 27 %. Важно отметить, что степень утомления существенно различается в зависимости от вида упражнений (например, езда на велосипеде или бег), и поэтому ее необходимо специальным образом учитывать во время анализа высокоинтенсивных упражнений на коньках [49]. В исследованиях было показано, что во время конькобежных нагрузок кровотоков в мышцах ног частично ограничен либо по причине высоких внутримышечных сил, либо из-за длительного рабочего цикла конькобежных шагов [25]. Эти факторы существенно уменьшают доступность кислорода и повышают зависимость от анаэробного обеспечения АТФ, серьезно усугубляя развитие утомления, что подчеркивает важность оценок факторов утомления, специфичных для каждого вида спорта. Однако, применима ли модель утомления, характерная для конькобежного спорта в хоккее неизвестно, поскольку как амплитуда движений, так и иные биомеханические и биоэнергетические характеристики коньковых локомоций могут существенно отличаться.

Что касается реальных хоккейных матчей, прямых оценок временного снижения производительности во время или после смен не проводилось, вероятно, отчасти из-за сложности подобных экспериментов в реальных условиях, по крайней мере, при попытке использования продвинутых инструментальных методов. Тем не менее короткие соперничества на льду и, как следствие, высокие соотношения работы и отдыха, характерные для нападающих и защитников (различающиеся в зависимости от амплитуды), являют собой косвенное свидетельство неспособности поддерживать работоспособность в течение длительного времени и необходимости длительных периодов отдыха после каждой смены на льду.

Чтобы оценить способность поддерживать производительность во время повторной спринтерской работы на льду, имитирующей смену, Станула и др. [56] подвергли игроков шестисменным симуляциям, чередующимся с 2-минутными или 3-минутными периодами восстановления, первый из которых приводил к снижению работоспособности, в то время как последний обеспечивал достаточно устойчивую работоспособность.

Этиология утомления при выполнении различных видов высокоинтенсивных упражнений, присущих хоккею с шайбой, вероятно, многогранна, включая

метаболические и ионные нарушения в нагружаемых мышцах, а также потенциальные изменения, манифестирующие себя на уровне ЦНС [28, 2, 40]. Например, во время интенсивных физических упражнений рост внеклеточного K^+ , внутриклеточного фосфата и H^+ , а также нарушение концентрации других метаболитов (в т. ч. рост количества побочных продуктов гидролиза АТФ) и ионов могут нарушить процессы гармонизации возбуждения–сокращения, приводящее к снижению работоспособности [28, 2, 40].

Гомеостаз АТФ в мышцах при физической работе, как правило, сохраняется на должном уровне, однако сверхинтенсивные кратковременные нагрузки все же могут вызвать значительные нарушения (снижение примерно на 20–30 %) концентрации АТФ в клетках [12, 18]. На уровне отдельных волокон были продемонстрированы еще более выраженные нарушения, приводящие к серьезному снижению уровня АТФ, особенно в отношении быстросокращающихся волокон [33, 23].

Аналогичная гетерогенность очевидна и для снижения уровня креатинфосфата, возникающая во время высокоинтенсивных упражнений. Более значительное снижение и медленный ресинтез данного субстрата сильнее выражен в быстросокращающихся одиночных волокнах, вероятно, по причине различных окислительных фенотипов, специфичных для каждого вида волокон [33, 17]. Таким образом, во время хоккейных матчей усиленное истощение и длительное восстановление концентраций креатинфосфата и АТФ в быстросокращающихся волокнах может поставить под угрозу способность поддерживать работоспособность во время интервальных высокоинтенсивных нагрузок.

В соответствии с данной концепцией, Кейси и др. [17] в своих экспериментах продемонстрировали полное восстановление медленных и лишь частичное восстановление быстрых волокон даже после 4-минутного периода пассивного восстановления по завершении 30-секундного спринта.

Фактические оценки метаболитов мышц в реальных хоккейных играх были выполнены только в одном исследовании на уровне целых мышц (не отдельных волокон) [72]. Парадоксально, но когда образцы биопсии были взяты после задержки ~ 30–45 секунд после смены, никаких изменений в концентрациях АТФ не наблюдалось. Однако, как упоминалось ранее, концентрации креатинфосфата в мышцах все еще были умеренно снижены в отдельных образцах и, по оценкам, сильно снижались при прекращении физических упражнений. Напротив, рН мышц был снижен лишь умеренно и, вероятно, хорошо отражал его фактические значения на льду, учитывая замедленное восстановление рН мышц после интенсивных нагрузок. Таким образом, снижение мышечного рН во время хоккейных нагрузок не кажется существенным, однако нельзя исключать более значительной степени «закисления» мышц, если проводить измерения непосредственно после высокоинтенсивной нагрузки и на уровне отдельных волокон, в особенности, быстросокращающихся.

Помимо кратковременного утомления, возникающего во время и после смен, повышенное утомление может накапливаться в ходе игры в результате повторяющихся нагрузок высокой интенсивности. На основе данных отслеживания, полученных в недавних исследованиях, было продемонстрировано

снижение активности на льду на последних этапах игры, что главным образом выражалось в снижении числа действий высокой интенсивности [37, 14, 1].

Исследования сообщали о меньшем расстоянии и скорости спринтов в третьем периоде мужских хоккейных игр высшего дивизиона, также было обнаружено снижение на 5–10 % общих показателей нагрузки, основанных на данных акселерометров. Эти результаты аналогичны результатам, полученным в женском элитном хоккее с шайбой, где снижение на 5–10 % показателей нагрузки наблюдалось в поздние периоды [48, 22]. Однако имеются и иные данные. Так, Лигнелл с соавт. [37] сообщили о повышении интенсивности катания на длинной дистанции в третьем периоде игр НХЛ, хотя средняя скорость катания все же снизилась.

Общим для большинства исследований по отслеживанию нагрузок в хоккее на льду является то, что они, как правило, основаны на ограниченном числе игр и сопряжены с методологическими проблемами, связанными с большими межличностными различиями в игровом времени и распределении времени по периодам в сочетании с изменчивостью в игровых требованиях под воздействием множества факторов (уровень противника, стиль игры, значимость матча и т. д.). Будущие исследования в хоккее должны попытаться учесть некоторые из этих переменных, в том числе на основе анализа более объемных данных игровых наблюдений и проведения углубленного поискового анализа в отношении результатов матча, игрового времени, позиционной роли, времени и характера игры в большинстве и меньшинстве, дополнительного времени, числа булитов и т. д. Кроме того, целесообразно сочетать данные временной активности, пройденной дистанции и показателей мультисенсорных акселерометров.

Прямая оценка сократительной функции и работоспособности мышц также может предоставить более надежные доказательства наличия и этиологии утомления в хоккее с шайбой, хотя такие измерения были получены лишь в ограниченном числе работ.

В классическом исследовании нервно-мышечная функция проверялась с помощью электростимулированных и произвольных изометрических сокращений разгибателей коленного сустава в течение 6-дневного цикла, включающего как тренировки, так и игры [30]. Сообщалось о снижении максимальных произвольных сокращений, индуцированных электричеством на 20–30 % (в особенности – низкочастотных). Кроме того, Виг-Ларсен и др. [72] оценили способность к интервальной спринтерской работе на льду после экспериментальной игры сборной Дании U20 с использованием повторных спринтов длиной 3×33,15 м (от линии ворот до второй синей линии, в зависимости от размеров катка). Данные показали снижение работоспособности примерно на 3 %, несмотря на то, что игроки перед тестом отдыхали около 5 минут.

Очевидно, что для корректного обоснования степени и этиологии утомления в хоккее необходимы дополнительные данные, поскольку нарушение способности к повторным спринтам и способности генерировать силу может иметь решающее значение для производительности в интенсивных хоккейных сменах на заключительных стадиях игры, где степень утомления может быть более выраженной.

Как обсуждалось ранее, истощение внутримышечных запасов гликогена является вероятным фактором, способствующим утомлению, возникающему на заключительных стадиях игры. Хотя концентрация гликогена во всей мышце истощается после хоккейного матча далеко не полностью, на уровне отдельных волокон, можно наблюдать полное или почти полное истощение, причем как в медленных, так и быстрых волокнах [72].

Из-за высокого уровня гликолитического обмена, характерного для хоккея, было высказано предположение, что уже при коротком 6-секундном спринте, одним из факторов ухудшения работоспособности является истощение гликогена [5, 27], что было подтверждено в плацебо-контролируемом исследовании [68]. Таким образом, устойчивое снижение способности к повторному спринту на 8 % было продемонстрировано при концентрации мышечного гликогена чуть ниже 200 ммоль/кг, что отражает реальную степень истощения после хоккейного матча и может быть опосредовано нарушением возбудимости мышечных клеток, кинетикой Ca^{2+} и/или нарушением актин-миозинового мотора [71].

В подтверждение указанных данных, Акермарк и др. [3] сообщили о значительно большем количестве смен, общем времени на льду и пройденной дистанции во время хоккейного матча в группе хоккеистов с повышенными, по сравнению с нормальными, запасами мышечного гликогена перед игрой, что было наиболее очевидно на последних стадиях игры.

Кроме снижения концентрации гликогена утомление могут вызывать и иные причины. Несмотря на то, что в хоккей играют в холодных условиях (около 10–15° С), игроки должны носить тяжелую защитную экипировку и одежду, препятствующую процессу испарения. При этом высокая нагрузка способствует интенсивному потоотделению и повышению температуры тела. В исследованиях было показано, что треть игроков во время юношеского хоккейного матча потеряла более 2 % массы тела, несмотря на неограниченный доступ к жидкости во время отдыха на скамье и во время перерывов между периодами [39].

Подобная степень обезвоживания сопровождалась растущим повышением температуры тела, ЧСС, индексом воспринимаемой нагрузки и ухудшением работоспособности во время аэробных упражнений средней интенсивности, несмотря на то, что критический уровень обезвоживания (выше 3–4 %) [35] достигнут не был. В хоккее с шайбой даже легкое обезвоживание приводит к снижению эффективности технических действий, повышением оценок воспринимаемой нагрузки и повышением температуры тела как во время тренировок, так и реальных матчей [38]. Следовательно, обезвоживание, по-видимому, тесно связано с гипертермией, возможно, из-за уменьшения объема крови, снижающего способность выполнять терморегуляторную роль путем распределения кровотока к периферии.

Таким образом, хотя лишь в немногих исследованиях были получены четкие данные о температуре тела, имеющиеся результаты недвусмысленно указывают на ее значительное повышение, по крайней мере, во время тренировок по хоккею и игр, что приводит к снижению толерантности к физической нагрузке из-за повышения температуры тела, кожи, мышц и даже температуры

мозга, вызывающей утомление на уровне ЦНС [43]. Примечательно, что как обезвоживание, так и гипертермия были связаны с повышенным использованием гликогена в мышцах (в т. ч. из-за прямого температурного воздействия на активность ферментов и из-за изменений в распределении кровотока). Это означает, что во время хоккейных матчей эти факторы могут быть тесно взаимосвязаны.

В совокупности как истощение гликогена, так и обезвоживание (в сочетании с потенциальной гипертермией) могут вызывать усталость на заключительных этапах игры, особенно у отдельных игроков с высокой нагрузкой или неадекватными стратегиями профилактики утомления (недостаточное потребление жидкости и/или углеводной загрузки). Более того, следует признать, что в ухудшении результативности на разных этапах игры, вероятно, задействовано несколько потенциальных механизмов как физиологического, так и психического происхождения.

Восстановление

Динамика восстановления после хоккейных матчей все еще недостаточно изучена, несмотря на важность этого вопроса ввиду очень плотного графика игр сезона и внесезонных встреч, которые подвергают существенному стрессу способность игроков к восстановлению.

В других командных видах спорта, таких как футбол, исследования сообщают о продолжительном восстановлении нервно-мышечной функции, спринтерских способностей и запасов мышечного гликогена – около 72 часов [53]. Было высказано предположение, что ключевой фактор, обуславливающий столь длительное время – большое количество быстрых эксцентрических мышечных усилий и ударов во время высокоскоростного бега, а также изменение скорости и направления движений в видах спорта, основанных на беговых локомоциях, которые, как было показано, вызывают повреждение мышц и усиливают воспалительные и окислительные стрессовые реакции, задерживая восстановление работоспособности и ухудшая его течение [47].

Учитывая уникальную модель движений в хоккее с шайбой и меньший общий объем работы, восстановительные реакции, вероятно, будут носить иной характер, в частности, ожидается более ускоренная динамика восстановления функций.

Исследования отмечают заметно более низкие значения маркеров повреждения и воспаления мышц в крови, а также менее существенные нарушения иммунных и стрессовых гормональных реакций через 24 часа после игры в хоккее с шайбой по сравнению с игрой в футбол [37]. Также отмечается более быстрое восстановление запасов мышечного гликогена после игры [63].

В этом отношении были выявлены различные скорости ресинтеза гликогена после приема смешанной диеты по сравнению с диетой с высоким содержанием углеводов в период восстановления между двумя играми, разделенными тремя днями, что позволяет предположить, что диета с высоким содержанием углеводов необходима для максимизации восстановления запасов гликогена в период между играми.

В целом, хотя в настоящее время не имеется достаточных к тому доказательств, период восстановления, необходимый после матча по хоккею с шайбой, по-видимому, короче, чем тот, который регистрируется в других командных видах спорта, несмотря на схожие величины сокращения мышечного гликогена.

Будущие исследования должны более подробно рассмотреть схему восстановления после специфических хоккейных нагрузок, а также оценить наилучшие сценарии, например, в отношении ключевых игроков, проводящих большое количество времени на льду и с наименьшим количеством доступного времени восстановления. Кроме того, необходимо оценить способность игроков выдерживать перегруженные игровые интервалы с включением прямых показателей работоспособности и состояния мышечной функции в дополнение к основным аналитическим данным матча.

Резюме

Хоккейные матчи подвергают нагрузке как аэробные, так и анаэробные энергетические системы, но существует множество неизвестных аспектов, таких как важность кинетики поглощения кислорода, МПК и фенотипа скелетных мышц в отношении производительности на льду на различных этапах игры. Однако имеющиеся знания имеют практическую ценность для разработки режимов тренировок со сбалансированной ориентацией как на аэробные, так и на анаэробные энергетические системы, не пренебрегая при этом приоритетом развития скоростных и скоростно-силовых качеств.

В частности, выявлено, что истощение мышечного гликогена в отдельных волокнах и субклеточных структурах является существенным фактором утомления во время хоккейных матчей. Вместе с представленными доказательствами потенциальной роли обезвоживания и гипертермии эта информация формирует основу для разработки адекватной диеты, стратегии гидратации и терморегуляции, обеспечивающих поддержание оптимальной работоспособности.

Важные последующие шаги в исследованиях хоккея – сформировать более глубокое понимание закономерностей восстановления после игр, которые, вероятно, будут отличаться от других командных видов спорта из-за уникальных характеристик катания, динамики игры, специфических ударных нагрузок и т. д., кроме того, важно более полно оценить индивидуальные различия в игре, требования и последствия для физиологических реакций и адаптации диеты, восстановления и подходов к тренировочным и соревновательным нагрузкам.

Источники:

1. In-season session training load relative to match load in professional ice hockey / P. Allard [et al.] // J Strength Cond Res. – 2022. – Vol. 36 (2). – P. 486–492.

2. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms / D. G. Allen [et al.] // Physiol Rev. – 2008. – Vol. 88 (1). – P. 287–332.

3. Diet and muscle glycogen concentration in relation to physical performance in Swedish elite ice hockey players / C. Akermark [et al.] // Int J Sport Nutr. – 1996. – Vol. 6 (3). – P. 272–284.

4. Enhanced oxygen availability during high intensity intermittent exercise decreases anaerobic metabolite concentrations in blood / P. D. Balsom [et al.] // Acta Physiol Scand. – 1994. – Vol. 150 (4). – P. 455–456.

5. High-intensity exercise and muscle glycogen availability in humans / P. D. Balsom [et al.] // *Acta Physiol Scand.* – 1999. – Vol. 165 (4). – P. 337–345.
6. Reduced oxygen availability during high intensity intermittent exercise impairs performance / P. D. Balsom [et al.] // *Acta Physiol Scand.* – 1994. – Vol. 152 (3). – P. 279–285.
7. Physical and metabolic demands of training and matchplay in the elite football player / J. Bangsbo [et al.] // *J Sports Sci.* – 2006. – Vol. 24 (7). – P. 665–674.
8. Muscle oxygen kinetics at onset of intense dynamic exercise in humans / J. Bangsbo [et al.] // *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* – 2000. – Vol. 279 (3). – P. R899–R906.
9. Bassett, D. R. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance / D. R. Bassett, E. T. Jr. Howley // *Med Sci Sports Exerc.* – 2000. – Vol. 32 (1). – P. 70–84.
10. Bishop, D. Determinants of repeated-sprint ability in females matched for single-sprint performance / D. Bishop, J. Edge // *Eur J Appl Physiol.* – 2006. – Vol. 97 (4). – P. 373–379.
11. Bishop, D. Determinants of repeated-sprint ability in well-trained team-sport athletes and endurance-trained athletes / D. Bishop, M. Spencer // *J Sports Med Phys Fitness.* – 2004. – Vol. 44 (1). – P. 1–7.
12. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise / G. C. Bogdanis [et al.] // *J Appl Physiol.* – 1996. – Vol. 80 (3). – P. 876–884.
13. Association of hematological variables with team-sport specific fitness performance / F. Brocherie [et al.] // *PLoS One.* – 2015. – Vol. 10 (12). – e0144446.
14. Updated analysis of changes in locomotor activities across periods in an international ice hockey game / F. Brocherie [et al.] // *Biol Sport.* – 2018. – Vol. 35 (3). – P. 261–267.
15. Tolerance to high-intensity intermittent running exercise: do oxygen uptake kinetics really matter? / M. Buchheit [et al.] // *Front Physiol.* – 2012. – Vol. 3. – P. 406.
16. Do hockey players need aerobic fitness? Relation between VO_2 max and fatigue during high-intensity intermittent ice skating / D. G. Carey [et al.] // *J Strength Cond Res.* – 2007. – Vol. 21 (3). – P. 963–966.
17. Metabolic response of type I and II muscle fibers during repeated bouts of maximal exercise in humans / A. Casey [et al.] // *Am J Physiol.* – 1996. – Vol. 271(1 Pt 1). – P. E38–E43.
18. Human muscle metabolism during sprint running / M. E. Cheatham [et al.] // *J Appl Physiol.* – 1986. – Vol. 61 (1). – P. 54–60.
19. The influence of maximal aerobic power on recovery of skeletal muscle following anaerobic exercise / S. R. Cooke [et al.] // *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* – 1997. – Vol. 75 (6). – P. 512–519.
20. Match running performance in elite Australian rules foot-ball / A. J. Coutts [et al.] // *J Sci Med Sport.* – 2010. – Vol. 13 (5). – P. 543–548.
21. Carbohydrate drinks delay fatigue during intermittent, high-intensity cycling in active men and women / J. M. Davis [et al.] // *Int J Sport Nutr.* – 1997. – Vol. 7 (4). – P. 261–273.
22. On-ice measures of external load in relation to match outcome in elite female ice hockey / A. Douglas [et al.] // *Sports (Basel).* – 2019. – Vol. 7 (7). – P. 173.
23. Metabolic response in type I and type II muscle fibers during a 30-s cycle sprint in men and women / M. Esbjornsson-Liljedahl [et al.] // *J Appl Physiol.* – 1999. – Vol. 87 (4). – P. 1326–1332.
24. Skating mechanics of change-of-direction maneuvers in ice hockey players / A. Fortier [et al.] // *Sports Biomech.* – 2014. – Vol. 13 (4). – P. 341–350.
25. Evidence for restricted muscle blood flow during speed skating / C. Foster [et al.] // *Med Sci Sports Exerc.* – 1999. – Vol. 31 (10). – P. 1433–1440.
26. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise / G. C. Gaitanos [et al.] // *J Appl Physiol.* – 1993. – Vol. 75 (2). – P. 712–719.
27. Muscle glycogen content modifies SR Ca^{2+} release rate in elite endurance athletes / K. D. Gejl [et al.] // *Med Sci Sports Exerc.* – 2014. – Vol. 46 (3). – P. 496–505.
28. Repeated-sprint ability – part I: factors contributing to fatigue / O. Girard [et al.] // *Sports Med.* – 2011. – Vol. 41 (8). – P. 673–694.
29. Glaister, M. Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness / M. Glaister // *Sports Med.* – 2005. – Vol. 35 (9). – P. 757–777.
30. Green, H. J. Bioenergetics of ice hockey: considerations for fatigue / H. J. Green // *J Sports Sci.* – 1987. – Vol. 5 (3). – P. 305–317.

31. Glycogen depletion patterns during ice hockey performance / H. J. Green [et al.] // *Med Sci Sports*. – 1978. – Vol. 10 (4). – P. 289–293.
32. Relationship of recovery from intensive exercise to the oxidative potential of skeletal muscle / E. Jansson [et al.] // *Acta Physiol Scand*. – 1990. – Vol. 139 (1). – P. 147–152.
33. Phosphocreatine and ATP content in human single 14 of 14 muscle fibres before and after maximum dynamic exercise / C. Karatzaferi [et al.] // *Pflugers Arch*. – 2001. – Vol. 442 (3). – P. 467–474.
34. Leg glucose up-take during maximal dynamic exercise in humans / A. Katz [et al.] // *Am J Physiol*. – 1986. – Vol. 251 (1 Pt 1). – P. E65–E70.
35. The influence of hydration on anaerobic performance: a review / J. A. Kraft [et al.] // *Res Q Exerc Sport*. – 2012. – Vol. 83 (2). – P. 282–292.
36. Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance / P. Krustrup [et al.] // *Med Sci Sports Exerc*. – 2006. – Vol. 38 (6). – P. 1165–1174.
37. Analysis of high- intensity skating in top-class ice-hockey match-play in relation to training status and muscle damage / E. Lignell [et al.] // *J Strength Cond Res*. – 2017. – Vol. 32. – P. 1303–1310.
38. Maintaining hydration with a carbohydrate-electrolyte solution improves performance, thermoregulation, and fatigue during an ice hockey scrimmage / M. E. Linseman [et al.] // *Appl Physiol Nutr Metab*. – 2014. – Vol. 39 (11). – P. 1214–1221.
39. Estimated fluid and sodium balance and drink preferences in elite male junior players during an ice hockey game / H. M. Logan-Sprenger [et al.] // *Appl Physiol Nutr Metab*. – 2011. – Vol. 36 (1). – P. 145–152.
40. Metzger, J. M. Effects of tension and stiffness due to reduced pH in mammalian fast- and slow-twitch skinned skeletal muscle fibres / J. M. Metzger, R. L. Moss // *J Physiol*. – 1990. – Vol. 428. – P. 737–750.
41. Montgomery, D. L. Physiology of ice hockey / D. L. Montgomery // *Sports Med*. – 1988. – Vol. 5 (2). – P. 99–126.
42. Noonan, B. C. Intragame blood-lactate values during ice hockey and their relationships to commonly used hockey testing protocols / B. C. Noonan // *J Strength Cond Res*. – 2010. – Vol. 24 (9). – P. 2290–2295.
43. Nybo, L. Brain temperature and exercise performance / L. Nybo // *Exp Physiol*. – 2012. – Vol. 97 (3). – P. 333–339.
44. Carbohydrate mouth-rinsing improves over-time physical performance in male ice hockey players during on-ice scrimmages / D. L. E. Nyman [et al.] // *Front Nutr*. – 2022. – Vol. 9. – P. 792708.
45. Ingesting a sports drink enhances simulated ice hockey performance while reducing perceived effort / M. S. Palmer [et al.] // *Int J Sports Med*. – 2017. – Vol. 38 (14). – P. 1061–1069.
46. Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise / M. L. Parolin [et al.] // *Am J Physiol*. – 1999. – Vol. 277 (5). – P. E890–E900.
47. Exercise-induced muscle damage, plasma cytokines, and markers of neutrophil activation / J. M. Peake [et al.] // *Med Sci Sports Exerc*. – 2005. – Vol. 37 (5). – P. 737–745.
48. International matches elicit stable mechanical workload in high-level female ice hockey / J. Perez [et al.] // *Biol Sport*. – 2022. – Vol. 39 (4). – P. 857–864.
49. Peripheral neuromuscular fatigue induced by repeated-sprint exercise: cycling vs running / E. Rampinini [et al.] // *J Sports Med Phys Fitness*. – 2014. – Vol. 56. – P. 49–59.
50. Repeated-sprint ability in professional and amateur soccer players / E. Rampinini [et al.] // *Appl Physiol Nutr Metab*. – 2009. – Vol. 34 (6). – P. 1048–1054.
51. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration / J. A. Romijn [et al.] // *Am J Physiol*. – 1993. – Vol. 265 (3 Pt 1). – P. E380–E391.
52. Resynthesis of creatine phosphate in human muscle after exercise in relation to intramuscular pH and availability of oxygen / K. Sahlin [et al.] // *Scand J Clin Lab Invest*. – 1979. – Vol. 39 (6). – P. 551–558.
53. Acute and residual soccer match-related fatigue: a systematic review and meta-analysis / J. R. Silva [et al.] // *Sports Med*. – 2018. – Vol. 48 (3). – P. 539–583.
54. Effects of carbohydrate intake before and during an ice hockey Game on blood and muscle energy substrates / C. Simard [et al.] // *Res Q Exerc Sport*. – 1988. – Vol. 59 (2). – P. 144–147.
55. Soderlund, K. ATP and phosphocreatine changes in single human muscle fibers after intense electrical stimulation / K. Soderlund, E. Hultman // *Am J Physiol*. – 1991. – Vol. 261 (6 Pt 1). – P. E737–E741.

56. A comparative study of two-minute versus three-minute passive recovery on Sprint skating performance of ice hockey forwards and defensemen / A. Stanula [et al.] // *Int J Environ Res Public Health*. – 2021. – Vol. 18 (24). – P. 13029.
57. Stanula, A. Game intensity analysis of elite adolescent ice hockey players / A. Stanula, R. Rocznik // *J Hum Kinet*. – 2014. – Vol. 44. – P. 211–221.
58. The role of aerobic capacity in high-intensity intermittent efforts in ice-hockey / A. Stanula [et al.] // *Biol Sport*. – 2014. – Vol. 31 (3). – P. 193–199.
59. Stellingwerff, T. Systematic review: carbohydrate supplementation on exercise performance or capacity of varying durations / T. Stellingwerff, G. R. Cox // *Appl Physiol Nutr Metab*. – 2014. – Vol. 39 (9). – P. 998–1011.
60. Control of the rate of phosphocreatine resynthesis after exercise in trained and un-trained human quadriceps muscles / H. Takahashi [et al.] // *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. – 1995. – Vol. 71 (5). – P. 396–404.
61. Tesch, P. A. Recovery from short term intense exercise: its relation to capillary supply and blood lactate concentration / P. A. Tesch, J. E. Wright // *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. – 1983. – Vol. 52 (1). – P. 98–103.
62. Relationships between maximal muscle oxidative capacity and blood lactate removal after supra-maximal exercise and fatigue indexes in humans / C. Thomas [et al.] // *J Appl Physiol*. – 2004. – Vol. 97 (6). – P. 2132–2138.
63. The recovery of muscle function and glycogen levels following game-play in young elite male ice hockey players / H. Thorsteinnsson [et al.] // *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. – 2023. – Vol. 33.12. – P. 2457–2469.
64. Importance of muscle phosphocreatine during intermittent maximal cycling / M. E. Trump [et al.] // *J Appl Physiol*. – 1996. – Vol. 80 (5). – P. 1574–1580.
65. The effects of increasing exercise intensity 13 of 14 VIGH-LARSEN – MOHRon muscle fuel utilisation in humans / L. J. Van Loon [et al.] // *J Physiol*. – 2001. – Vol. 536 (Pt 1). – P. 295–304.
66. Van Loon, L. J. Use of intramuscular triacylglycerol as a substrate source during exercise in humans / L. J. Van Loon // *J Appl Physiol*. – 2004. – Vol. 97 (4). – P. 1170–1187.
67. Positional performance profiling of elite ice hockey players / J. D. Vescovi [et al.] // *Int J Sports Physiol Perform*. – 2006. – Vol. 1 (2). – P. 84–94.
68. The role of muscle glycogen content and localization in high-intensity exercise performance: a placebo-controlled trial / J. F. Vigh-Larsen [et al.] // *Med Sci Sports Exerc*. – 2022. – Vol. 54. – P. 2073–2086.
69. The relationship between age and fitness profiles in elite male ice hockey players / J. F. Vigh-Larsen [et al.] // *J Sports Med Phys Fitness*. – 2020. – Vol. 61. – P. 512–518.
70. Fibre type and localisation-specific muscle glycogen utilisation during repeated high-intensity intermittent exercise / J. F. Vigh-Larsen [et al.] // *J Physiol*. – 2022. – Vol. 600. – P. 4713–4730.
71. Muscle glycogen metabolism and high-intensity exercise performance: a narrative review / J. F. Vigh-Larsen [et al.] // *Sports Med*. – 2021. – Vol. 51 (9). – P. 1855–1874.
72. Muscle metabolism and fatigue during simulated ice hockey match-play in elite players / J. F. Vigh-Larsen [et al.] // *Med Sci Sports Exerc*. – 2020. – Vol. 52 (10). – P. 2162–2171.
73. On-ice and off-ice fitness profiles of elite and U20 male ice hockey players of two different National Standards / J. F. Vigh-Larsen [et al.] // *J Strength Cond Res*. – 2020. – Vol. 34 (12). – P. 3369–3376.
74. Wadley, G. The relationship between repeated sprint ability and the aerobic and anaerobic energy systems / G. Wadley, P. Le Rossignol // *J Sci Med Sport*. – 1998. – Vol. 1 (2). – P. 100–110.

Дарануца Кристина Сергеевна, начальник информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Хоккей – это один из самых популярных видов спорта в мире, который имеет многовековую историю развития и совершенствования. Зарождение хоккея в европейских странах датируется 15–16 веками, однако современная версия данного вида спорта появилась в 1877 году [1]. История совершенствования хоккея свидетельствует о постоянном развитии и улучшении этого увлекательного вида спорта, что делает его одним из самых распространенных в мире.

В настоящее время все виды спорта, включая хоккей, оснащены инновационными технологиями и техническим оборудованием, которое способствует обеспечению безопасности игроков, совершенствованию навыков и способностей спортсменов, а также повышает зрелищность и скорость передачи данных болельщикам.

В последние годы технологии становятся все более важным аспектом в развитии хоккея. Стоит отметить, что на спортивный результат может повлиять спортивная экипировка и инвентарь. Так, технологии по производству экипировки не стоят на месте. Огромное влияние оказывает вес и прочность: карбоновые коньки с лезвиями из нержавеющей стали, покрытые углеродным напылением, клюшки из углепластика, защитный панцирь, шорты и наколенники выполнены из мягких пластин с пенным наполнением и жестких защитных вставок, а также шлем из высокопрочного пластика – все это прошло многолетний технологический процесс, чтобы обеспечить максимальную безопасность игрокам (рисунок 1) [2].



Рисунок 1 – Эволюция защитной экипировки хоккеистов

Прогресс инноваций коснулся также обеспечения тренировочного и соревновательного процессов. Например:

1. *Видеоповторы*. Используются для анализа игры, выявления сильных и слабых сторон игроков, разработки стратегий «ведения игры».

2. Датчики (чипы) на игровой форме или инвентаре игроков. Используются для сбора данных о физических параметрах и технике игры спортсменов в целях оптимизации тренировок и разработки индивидуальных программ для игроков.

Еще одним технологическим прогрессом стало создание «Умной» шайбы, а также формы с чипом разработчиками из Финляндии. Такие новшества используются в матчах КХЛ и позволяют тренерам и зрителям в режиме реального времени получать развернутую статистику по действующим игрокам (рисунок 2) [3].



Рисунок 2 – «Умная» шайба

Встроенные чипы могут фиксировать:

- максимальную и среднюю скорость хоккеистов;
- ускорение хоккеиста;
- пройденное игроком расстояние;
- время нахождения на льду;
- тепловую карту игроков;
- карту бросков;
- выигрыши вбрасываний и многое другое (рисунки 3–5).

С помощью чипов можно записывать информацию не только по конкретному игроку, но и по всему звену: тренер получает информацию о работе игроков и анализирует их работу в команде (рисунок 6) [3].

На арене устанавливаются сенсоры, которые с периодичностью 100 раз в секунду воспринимают сигналы датчиков шайбы и игроков и передают данные о их местоположении на игровом поле по системе Bluetooth в центр обработки и анализа информации. Полученная статистика в режиме реального времени транслируется на экранах арены, а также на сайте и специальных мобильных приложениях. Такая система позволяет болельщикам и специалистам увидеть полную «картину» матча.

Идентичную систему, разработанную немецкой дочерней компанией Института Фраунгофера «Jogmo World Corp», начали использовать в НХЛ. В форме игроков также размещены датчики, в шайбе – 40 сенсоров. Для связи с этими устройствами под потолком арены установлены 14–16 антенн и 4 телевизионные камеры для отслеживания перемещения игроков и шайбы. Данная система позволяет фиксировать движение игроков 200 раз в секунду, а шайбы – 2000 раз в секунду [4].



Рисунок 3 – Статистика игрока



Рисунок 4 – Пройденное игроками расстояние

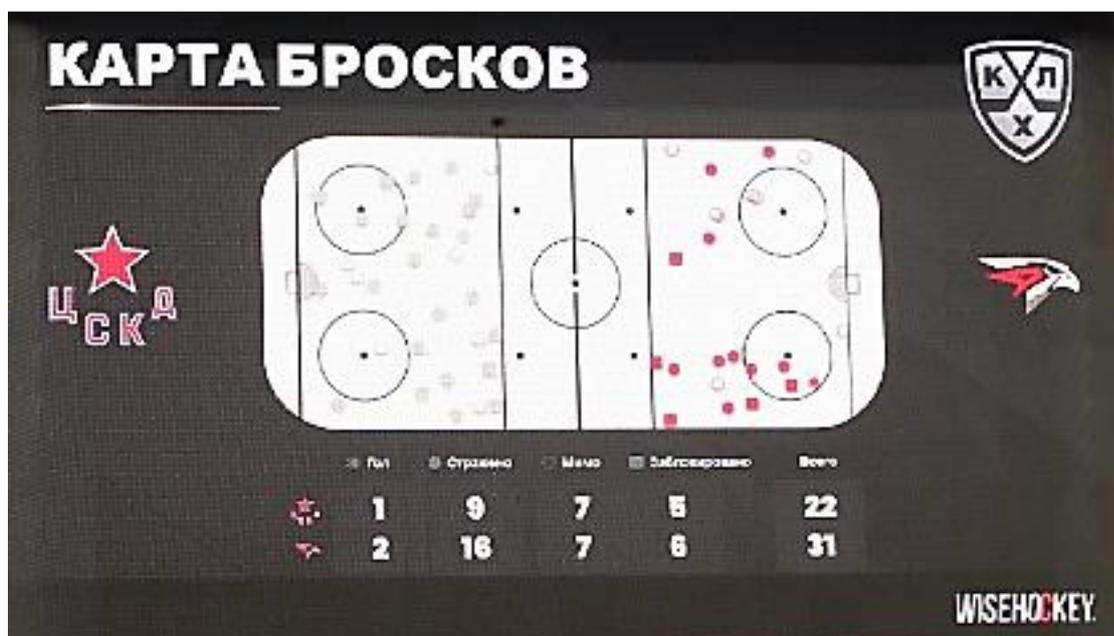


Рисунок 5 – Карта бросков



Рисунок 6 – Общая статистика матча

3. *Виртуальная реальность.* Используется для тренировок и развития игровых навыков спортсменов.

Проект, разработанный инновационным научно-технологическим центром (ИНТЦ) «Сириус», заключается в развитии когнитивных функций спортсменов с помощью использования VR программно-аппаратного комплекса. Комплекс действует по двум основным направлениям:

1) «Steps Sport» – повышение эффективности и безопасности тренировок профессиональных спортсменов и любителей. Система собирает данные о физическом и психологическом состоянии спортсменов, выявляет слабые места, оценивает динамику занятий и предупреждает травматизм [5];

2) тренажер «Сирин» – позволяет анализировать игру по прямым и косвенным показателям, а также определяет уровень игрового мышления у спортсменов на примере двух тестов:

«Отслеживание» – игрок видит четыре красных шарика и четыре желтых. Они непрерывно двигаются. В какой-то момент все шарики становятся одинакового желтого цвета. Задача – продолжать следить за теми из них, которые были красными вначале, а затем указать их с помощью курсора джойстика.

Чем лучше участник справляется с заданием, тем сложнее становится тест – шарики двигаются все быстрее и быстрее;

«Невидимка» – предназначен для вратарей. Весь экран заполнен желтыми шариками, которые хаотично перемещаются по экрану и ударяются друг о друга. Задача – внимательно изучая соударения шариков, за 20 секунд найти три «невидимых» шарика и показать с помощью курсора, где они находятся (рисунок 7) [6].



Рисунок 7 – VR программно-аппаратный комплекс «Сириус»

Внедрение комплекса «Сириус» в работу хоккейных клубов позволит определять перспективных юных спортсменов на ранних этапах подготовки, а также повысить качество тренировочного процесса [6].

4. *Тренажеры.* Используются для оценки и развития физических качеств путем совершенствования когнитивных навыков спортсменов.

Помимо VR-технологий ИНТЦ «Сириус» в процесс подготовки хоккеистов использует ряд технологий (таблица 1) [6].

Таблица – Тренажеры, используемые ИНТЦ «Сириус» в хоккее

Наименование	Устройство тренажера	Назначение
Система спортивного хронометража Witty SEM		Оценка скорости реакции и стратегии наблюдения за полем, которую выбирает спортсмен, развивает навык эффективного использования периферического зрения, а также тактическое мышление и концентрацию внимания

Продолжение таблицы

Наименование	Устройство тренажера	Назначение
Тренажер «Реакция»		Оценка скорости реакции, отработка техники владения клюшкой, дриблинга, развитие периферического зрения
ForceFrame		Измерение силы и дисбаланса. Тензометрические датчики измеряют пиковые показатели силы в ньютонах для каждой ноги
Конькобежный тренажер		Отработка техники катания на разных скоростных уровнях
Миограф NORAXON		Фиксирует и анализирует параметры работы каждой мышцы во всех фазах упражнения

Стоит отметить, что огромное влияние на разработку вышеперечисленных технологий оказал *искусственный интеллект (ИИ)*, который находит применение в мировом хоккее в нескольких областях:

1. Анализ данных и статистики. ИИ обеспечивает быстрый анализ и сбор данных, выявление тенденции в игровых тактиках соперника, разработку статистики, прогноза рисков и выигрышной игровой стратегии.

2. Тренировка и развитие игроков – анализ техники игроков и выявление их сильных и слабых сторон. Полученные данные позволяют разрабатывать индивидуальные программы тренировок для каждого игрока.

3. Автоматизация решений, например, при выборе состава команды или при принятии решения о замене игрока.

4. Повышение безопасности. Анализ видеозаписей игр и выявление опасных ситуаций, которые могут привести к травмам игроков.

5. Повышение качества передачи информации во время трансляций игры – автоматическое отслеживание шайбы и игроков на поле, а также создание интерактивных элементов для зрителей [7].

Технологии на основе искусственного интеллекта стремительно развиваются и становятся все более значимым в спортивной сфере. Применение искусственного интеллекта в хоккее с шайбой может значительно улучшить качество игры и повысить эффективность управления командой. Применение ИИ в сочетании с опытом тренера и игроков является важным элементом на пути достижения высоких результатов.

С каждым годом технологии все больше внедряются во все сферы жизни, включая спорт. Технологический прогресс повышает качество и эффективность тренировочного и соревновательного процесса позволяет добиваться значительных результатов при использовании искусственного интеллекта и иных технических инноваций.

Источники:

1. Варшавская, М. М. Наиболее значимые спортивные изобретения / М. М. Варшавская // Актуальные вопросы современности глазами молодых исследователей: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. / Сибирская гос. автомобильно-дорожная акад. – Омск, 2017. – С. 303–308.

2. Технологии хоккея: как играют в XXI веке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.techinsider.ru/adrenalin/425532-tehnologii-hokkeya/?ysclid=lu6jbdqj6j362125943>. – Дата доступа: 20.03.2024.

3. Майоров, В. В КХЛ появились «умные» шайбы и формы с чипами. Такого нет даже в НХЛ [Электронный ресурс] / В. Майоров // БО СПОРТ. – Режим доступа: <https://m.sport.business-gazeta.ru/article/244190?ysclid=lu6jbjai4z43483298>. – Дата доступа: 23.03.2024.

4. Технология, которая сделает хоккей популярным [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://statusmen.ru/lifestyle/health/tehnologija-kotoraja-sdelaet-hokkej-populjarnym?ysclid=lu6jblhbp3511221198>. – Дата доступа: 29.03.2024.

5. Интерактивные тренажеры, цифровая лаборатория и айттрекер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sochisirius.ru/news/4907?ysclid=luc8huw0go454380889>. – Дата доступа: 29.03.2024.

6. Семь технологий для хоккеистов, которые впечатляют [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sports.ru/tribuna/blogs/sochinews/2941858.html?ysclid=lu6jbfddof439676464>. – Дата доступа: 29.03.2024.

7. Рубцов, К. Д. Применение искусственного интеллекта в хоккее с шайбой / К. Д. Рубцов, С. М. Кончакова // Молодая наука Сибири: сб. ст. / Иркутский гос. ун-т путей сообщения. – Иркутск, 2023. – № 1 (19). – С. 208–215.

ТРАВМЫ ГЛАВНЫХ СУДЕЙ И ЛАЙНСМЕНОВ В ХОККЕЕ С ШАЙБОЙ: по результатам опроса судей международной федерации хоккея с шайбой

*Попкин Ч.А., Фортни Т.А., Падаки А.С., Роджерс А.Дж., Трофа Д.П.,
Линч Т.Ш., Туоминен М., Стюарт М.Дж.*

Исследование проведено в Центре проблем плечевого, локтевого суставов и спортивной медицины; Колумбийский университет, Нью-Йорк, шт. Нью-Йорк, США.

INJURIES TO ICE HOCKEY REFEREES AND LINESMEN: a survey of international ice hockey federation officials

*Popkin C.H.A., Fortney T.A., Padaki A.S., Rogers A.J., Trofa D.P., Lynch T.S.,
Tuominen M., Stuart M.J.*

*Investigation performed at the Centre for Shoulder, Elbow and Sports Medicine, Columbia University, New York, New York, USA
The Orthopaedic Journal of Sports Medicine*

Справочная информация. В хоккее с шайбой главные судьи и лайнсмены подвержены риску травм опорно-двигательного аппарата из-за отсутствия защитного снаряжения и в результате контакта с игроками, клюшками, шайбами, поверхностью льда и бортиком (ограждением хоккейного поля).

Цель: количественная оценка и анализ травм, сообщенных судьями Международной федерации хоккея с шайбой (ИИХФ).

Дизайн исследования: описательное эпидемиологическое исследование.

Методы. Междисциплинарная команда разработала опросник, состоящий из 61 пункта для оценки травм опорно-двигательного аппарата, с которыми сталкиваются судьи в хоккее с шайбой. Опрос проведен среди 600 действующих главных судей и лайнсменов ИИХФ. В статистический анализ включены только заполненные ответы опросника. Непрерывные переменные были проанализированы с использованием непарных t-тестов, в то время как категориальные данные были оценены с использованием критерия хи-квадрат.

Результаты. Из 600 представленных опросников 264 были заполнены судьями из 45 стран (44 % респондентов). 72 % мужчины, а 28 % – женщины, средний возраст $31,1 \pm 5,8$ лет. Судейский стаж составил в среднем $11,4 \pm 6,0$ лет ($6,3 \pm 4,5$ года в ИИХФ). 55 % судей сообщили о 295 травмах. Частота травм выше во время матчей по сравнению с тренировками, общее количество травм больше у судей, работавших круглый год, по сравнению с судьями, бравшими периоды на отдых ($P = 0,03$). Наиболее травмируемыми областями тела были запястье и кисть ($n = 64$ [22 %]), голова и лицо ($n = 58$ [20 %]), а также колено ($n = 47$ [16 %]). Травмы запястья и кисти включали

23 перелома. Травмы колена и плеча чаще всего требовали хирургического вмешательства по сравнению с другими участками тела ($P < 0,001$); 30 судей перенесли операцию из-за острой травмы колена (10 %). Профилактические мероприятия оказались эффективными для снижения травматизма ($P = 0,04$).

Вывод. В процессе профессиональной деятельности большинство хоккейных судей получают скелетно-мышечные травмы. Риск травмы запястья и кисти может быть снижен с помощью модификаций экипировки, включая защитные перчатки. Больше внимания следует уделять программам профилактики травм и периодам отдыха от судейства соревнований.

Ключевые слова: судьи; хоккей с шайбой; скелетно-мышечная травма; профилактика травматизма.

Хоккей считается одним из самых быстрых и агрессивных контактных видов спорта, с потенциально высоким травматизмом [2, 22, 27]. Исходной причиной риска получения травмы является катание на коньках на скорости до 30 миль в час (~48 км/ч) с острыми лезвиями конька на ледяной поверхности, которая ограничена жесткими бортами [1, 13, 30]. Кроме того, вулканизированная резиновая шайба движется со скоростью, превышающей 100 миль в час (~161 км/ч). В обширной литературе подробно описаны заболеваемость, вид, механизм и тяжесть травм хоккеистов, которые соревнуются в этих условиях [9, 22, 27, 33]. При этом отсутствует научная литература, изучающая травмы судей, действующих в этом виде спорта, для которого характерны столкновения на большой скорости.

Для обычных болельщиков спортивные судьи часто играют второстепенную роль, если только они не согласны с решением, вынесенным против их команды, но главные судьи и лайнсмены в хоккее – это опытные спортсмены [12]. Судьи должны развивать на коньках бешеную скорость, чтобы соответствовать темпу игры. Нет никаких замен для судей, которые во время игры проходят на коньках от 5 до 10 миль (8–16 км). Международная федерация хоккея с шайбой (ИИХФ) с 2008 года применяет систему «4 арбитра на льду» – 2 главных судьи и 2 лайнсмена (линейных судьи). Один судья – ведущий, а второй – следящий. Когда поток игры переключается с одного конца катка на другой, следящий становится ведущим и наоборот. Главные судьи и лайнсмены следят за соблюдением правил и обеспечивают безопасную игру для всех спортсменов на льду.

Хоккейные судьи, безусловно, подвержены риску травм опорно-двигательного аппарата из-за отсутствия защитной экипировки и вследствие контакта с игроками, шайбой, бортами и клюшками. Сообщество спортивной медицины не уделяет судьям по хоккею с шайбой такого же внимания, как игрокам. Цель исследования состоит в том, чтобы сообщить о травмах главных судей и лайнсменов, осуществляющих судейство во время матчей ИИХФ. Знание моделей травм поможет медицинскому персоналу, обслуживающему хоккейные матчи, а также будущим исследованиям по профилактике травм хоккейных арбитров. По нашему мнению, большинство хоккейных судей во время своей профессиональной деятельности имеют высокий риск получения скелетно-мышечной травмы.

Методы

После получения одобрения институционального наблюдательного совета была разработана анкета для судей ИИФ, основанная на работе Bizzini et al. [4, 5] о футбольных судьях Международной футбольной ассоциации (FIFA). Окончательная форма анкеты была сгенерирована междисциплинарной командой, в которую входили хирурги-ортопеды, врачи спортивной медицины, спортивные тренеры и хоккейные судьи. Анкета также была одобрена Медицинским комитетом и судейским комитетом ИИФ для использования.

В отличие от футбола [14] и регби [15], имеющих консенсусные заявления об определении травмы для их соответствующих видов спорта, хоккей не имеет консенсусного заявления о том, что является травмой [11]. Мы использовали определение ИИФ травмы игрока как отчетный случай для судей: «любая травма, полученная в ходе тренировки или матча, которая помешала игроку [судье] вернуться на лед; любая травма, полученная на тренировке или во время матча, из-за которой игрок [судья] пропустил последующую тренировку или матч; рваная рана, требующая медицинской помощи; все травмы зубов; все сотрясения мозга и все переломы» [11, 34]. «Травматические повреждения» были определены как травмы, возникшие в результате определенного травматического события, в то время как «травмы вследствие переутомления» относились к тем, которые не связаны с конкретным инцидентом.

Анкета, состоящая из 61 пункта (дополнительный материал), распространялась среди зарегистрированных официальных лиц ИИФ во время Зимнего собрания ИИФ 2020 года в электронном виде с использованием защищенной ссылки. Ответы собирались с использованием независимого программного обеспечения Qualtrics. Все участники дали информированное согласие. В первой части анкеты изучались характеристики и опыт судейства. Вторая часть была сосредоточена на скелетно-мышечных жалобах и травмах, полученных во время тренировок или судейства. Третья часть опроса выявляла ранее имевшиеся медицинские проблемы (например, высокое кровяное давление, диабет и т. д.). Последний раздел анкеты содержал вопросы профилактики травм.

Статистический анализ проводился с использованием SPSS Statistics Version 25 (IBM). В статистический анализ были включены только заполненные ответы опросника. Непрерывные переменные анализировались с использованием непарного t-теста. Категориальные данные оценивались с использованием критерия хи-квадрат, определяющего разницу между ожидаемыми и наблюдаемыми значениями. Представленные числовые значения указывают среднее значение и стандартное отклонение, если не указано иное. Статистическая значимость была обозначена как $P < 0,05$.

Результаты

Из 600 действующих судей и лайнсменов ИИФ 264 официальных представителей из 45 стран заполнили анкету, что соответствует уровню участия 44,0 % [19]. В таблице 1 суммированы характеристики респондентов, среди которых 72,0 % мужчин и 28,0 % женщин, средний возраст составляет

31,1 ± 5,8 лет, средний индекс массы тела (ИМТ) – 24,9 ± 5,8. 45,1 % респондентов составляли главные судьи, 52,3 % – лайнсмены, а 2,7 % выполняли обе роли.

Все участники опроса являются опытными официальными представителями ИИФ. Средний стаж судейства составил 11,4 года, в том числе 6,3 года в ИИФ. Среднее количество официальных игр ИИФ составило 24,1, в том числе 6,1 игр в течение сезона ИИФ 2019 года. 54,9 % (n = 145) официальных представителей сообщили о полученных травмах во время судейства или тренировок. В общей сложности они получили 295 травм, из которых 89,5 % (n = 264) были результатом травмирующего воздействия, а 10,5 % (n = 31) – результатом переутомления. Кроме того, 72,4 % (n = 105) официальных представителей обратились за медицинской помощью в связи с полученной травмой. В среднем они пропустили 22,9 дня судейства за каждую травму.

Более того, 14,0 % (n = 37) официальных представителей сообщили как минимум об 1 медицинской сопутствующей патологии, которая включала сезонную аллергию (n = 15), астму (n = 10), гипертонию (n = 6), заболевание почек (n = 2), диабет (n = 2), гипотиреоз (n = 1) и брадикардию (n = 1). Примечательно, что 25,8 % (n = 68) официальных представителей нуждались в операции на опорно-двигательном аппарате, а 43 хирургические процедуры были прямым результатом травмы, полученной во время судейства на льду.

Таблица 1 – Сведения об участниках опроса (N = 264)^a

Показатель	Значение
Возраст, лет	31,1 ± 5,8
Пол, n (%)	
Мужской	190 (72,0)
Женский	74 (28,0)
Представленные страны, n	45
Рост, см	177,0 ± 9,7
Вес, кг	78,7 ± 12,3
ИМТ	24,9 ± 5,8
Судейская должность, n (%)	
Главный судья	119 (45,1)
Лайнсмен	138 (52,3)
Главный судья и лайнсмен	7 (2,7)
Количество лет судейства	11,4 ± 6,0
Количество лет судейства в ИИФ	6,3 ± 4,5
Количество проведенных игр ИИФ	24,1 ± 27,2
Количество игр ИИФ, проведенных в прошлом году	6,1 ± 3,6
Количество игр, не относящихся к ИИФ, проведенных в прошлом году	66,2 ± 36,2
Тренировка, ч/нед.	8,3 ± 5,9
График тренировок, n (%)	
В свободное время	150 (56,8)
В течение всего года	114 (43,2)

Продолжение таблицы 1

Показатель	Значение
Травмы в анамнезе, n (%)	145 (54,9)
Обращения к врачу по поводу травмы, n (%)	105 (72,4)
Количество травм	2,11 ± 1,04
Тип травмы (n = 295), n (%)	
Травматичный	264 (89,5)
Переутомление	31 (10,5)
Количество дней с травмами	52,4 ± 97,3
Количество пропущенных дней судейства	22,9 ± 36,3
≥1 коморбидность, n (%)	37 (14,0)
Скелетно-мышечная хирургия, n (%)	68 (25,8)

Примечание: ^a – данные представлены как среднее значение ± SD, если не указано иное. ИМТ, индекс массы тела; ИИФ, Международная федерация хоккея с шайбой.

Сравнительный анализ данных, представленных судьями и лайнсменами

В таблице 2 обобщены характеристики респондентов по половой принадлежности и занимаемой судейской должности. Средний возраст главных судей-мужчин (n = 100) составил 33,9 года, а средний индекс массы тела – 25,9, судейский стаж в среднем составлял 13,3 года, при этом 7,42 года судейства в ИИФ. Средний возраст мужчин-лайнсменов (n = 90) составил 29,5 лет, средний индекс массы тела – 25,2, средний судейский стаж – 10,8 лет, а судейский стаж в ИИФ – 5,77 лет. Из всех официальных представителей мужского пола (главные судьи и лайнсмены) 55,0 % сообщили о травмах в своей карьере, что составляет в среднем 2,12 травмы на одного официального представителя.

Средний возраст главных судей-женщин (n = 24) составил 31,5 ± 6,51 года, а средний индекс массы тела – 23,3 ± 1,89, средний опыт судейства составил 13,6 ± 8,12 лет, при этом опыт работы на турнирах ИИФ – 7,84 ± 6,45 лет.

Средний возраст женщин-лайнсменов (n = 50) меньше среднего возраста женщин-судей и составлял 27,4 ± 5,18 лет, а средний индекс массы тела – 23,5 ± 2,72. Они сообщили о 8,2 ± 5,30 годах судейского стажа, при этом 4,30 ± 3,79 года судейства в играх ИИФ. В целом 51,3 % официальных представителей женщин сообщили о полученных травмах, среднее количество заявленных травм составило 2,05 ± 1,03 травм.

Отсутствовала разница в количестве травм официальных представителей мужского и женского пола (2,12 ± 1,14 против 2,05 ± 1,03 травм, соответственно; $P = 0,75$) или при сравнении главных судей с линейными судьями (2,18 ± 1,16 против 2,05 ± 1,05 травм соответственно; $P = 0,22$) (таблица 2). При стратификации по возрасту у официальных представителей в возрасте 30 лет было значительно больше зарегистрированных травм, чем у лиц в возрасте <30 лет (2,22 ± 0,19 против 1,93 ± 1,08 травм соответственно; $P = 0,047$). Однако при стратификации по индексу массы тела не было никакой разницы в количестве травм между официальными представителями с нормальным индексом массы тела, определяемым как <25, и лицами с повышенным индексом массы тела (2,10 ± 1,07 против 2,14 ± 1,15 травм соответственно; $P = 0,41$) (таблица 3).

Таблица 2 – Сравнение по половой принадлежности и занимаемой должности (позиции)^a

Общие данные				
	ИМТ	Возраст, лет	Количество лет судейства	Количество лет судейства в ИИФ
Главные судьи				
Мужчины (n = 100)	25,9 ± 3,82	33,9 ± 5,02	13,3 ± 5,69	7,42 ± 4,39
Женщины (n = 24)	23,3 ± 1,89	31,5 ± 6,51	13,6 ± 8,12	7,84 ± 6,45
Лайнсмены				
Мужчины (n = 90)	25,2 ± 2,33	29,5 ± 5,01	10,8 ± 4,91	5,77 ± 3,69
Женщины (n = 50)	23,5 ± 2,72	27,4 ± 5,18	8,2 ± 5,30	4,30 ± 3,79
По половой принадлежности				
	Количество лет судейства в ИИФ	Количество игр ИИФ, проведенных в прошлом году	История травм, %	Количество травм
Мужчины (n = 190)	6,42 ± 4,06	6,34 ± 3,16	55,0	2,12 ± 1,14
Женщины (n = 74)	5,52 ± 4,65	6,92 ± 4,51	51,3	2,05 ± 1,03
P- значение	0,15	0,21	0,35	0,75
По судейской позиции				
	Тренировка, ч/нед.	Период отдыха, %	Сообщенные травмы, %	Травмы в карьере, n
Главные судьи (n = 124)	8,39 ± 5,44	50,0	55,8	2,18 ± 1,16
Лайнсмены (n = 140)	8,25 ± 6,37	54,1	52,7	2,05 ± 1,05
P- значение	0,44	0,71	0,23	0,22

Примечание: ^a – данные представлены как среднее значение ± SD, если не указано иное. ИМТ, индекс массы тела; ИИФ, Международная федерация хоккея с шайбой.

Таблица 3 – Влияние возраста и ИМТ на травматизм^а

	Тренировка, ч/нед.	История травм, %	Количество травм
Возраст			
<30 лет	8,10 ± 4,72	50,4	1,93 ± 1,08
≥30 лет	8,31 ± 6,33	57,8	2,22 ± 1,19
<i>P</i> - значение	0,77	0,10	0,047
ИМТ			
<25 (n = 141)	7,88 ± 4,39	56,0	2,10 ± 1,07
≥25 (n = 123)	8,70 ± 6,77	51,2	2,14 ± 1,15
<i>P</i> - значение	0,22	0,24	0,41

Примечание: ^а – данные представлены как среднее значение ± стандартное отклонение, если не указано иное. ИМТ, индекс массы тела. Жирным шрифтом обозначена значимость <0,05.

Травмы тела

295 зарегистрированных травм были разделены на 9 категорий в зависимости от области повреждения (зубы; запястье и кисть руки; голова и лицо; грудь и живот; колено и голень; пах, бедро и таз; спина; стопа и лодыжка; плечо и локоть) (рисунок 1 и таблица 4). Наиболее распространенными были травмы запястья/кисти (n = 64), за которыми следовали травмы головы/лица (сотрясения мозга и рваные раны, n = 58) и колена/голеней (n = 47). Сообщалось о 43 хирургических вмешательствах; 30 из них касались коленного сустава, 12 хирургических вмешательств были выполнены на плече и локте, и была проведена 1 операция на бедре. Травма колена или плеча с наибольшей вероятностью требовала хирургического вмешательства по сравнению с травмами остальных участков тела (*P* < 0,001).

Таблица 4 – Травмы тела (n = 295)^а

	Травмы, n	Требовалась операция, n	Количество дней с травмой, n	Количество пропущенных дней судейства, n
Дентальные	24	0	39,6 ± 48,3	5,6 ± 8,1
Запястье/рука	64	0	80,5 ± 112,5	18,8 ± 22,4
Голова/лицо	58	0	19,8 ± 32,8	13,2 ± 19,6
Грудь/живот	18	0	39,1 ± 54,8	43,6 ± 49,8
Колено/голень	47	30	64,5 ± 104,3	42,5 ± 73,7
Пах/бедро/таз	15	1	82,0 ± 97,5	12,1 ± 14,4
Спина	17	0	203,5 ± 191,2	21,1 ± 19,3
Стопа/лодыжка	29	0	70,6 ± 87,8	39,8 ± 41,9
Плечо/локоть	23	12	59,0 ± 81,3	22,9 ± 32,5

Примечание: ^а – данные представлены как среднее значение ± SD, если не указано иное. Отмечена значительная разница в травмах, потребовавших хирургического вмешательства, между травмами колена и плеча и травмами других участков тела (*P* < 0,001).

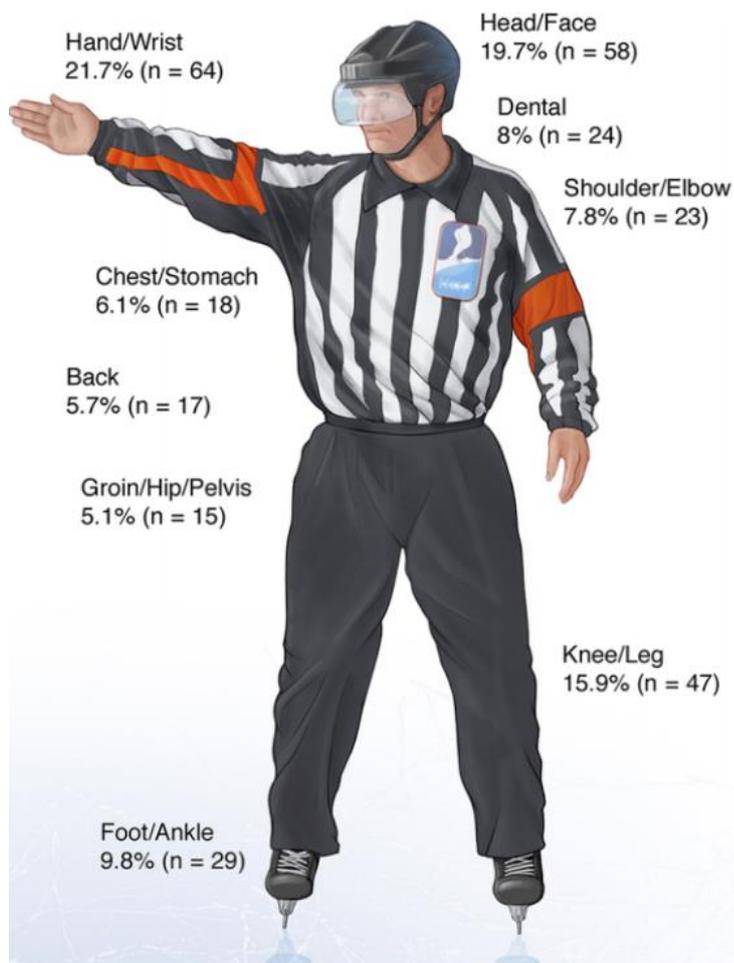


Рисунок 1 – Травмы тела, представленные в анкетных данных респондентов

Травмы запястья и кистей рук (таблица 5) включали 23 перелома (35,9 %), 16 ушибов (25,0 %), 8 рваных ран (12,5 %), 5 вывихов (7,8 %), 5 повреждений связок или сухожилий (7,8 %) и 7 повреждений были отнесены к категории прочих (10,9 %).

Таблица 5 – Виды травм запястья/кисти (n = 64)

Вид травмы	Количество, %
Перелом	23 (35,9)
Ушиб	16 (25,0)
Разрыв	8 (12,5)
Другой вид	7 (10,9)
Вывих сустава	5 (7,8)
Травма связок/сухожилий	5 (7,8)

Мероприятия по профилактике травматизма

И главные судьи, и лайнсмены считали профилактику травматизма приоритетной задачей, причем 88,6 % опрошенных официальных представителей принимали участие в мероприятиях по профилактике травматизма. Только

30 (11,4 %) опрошенных официальных представителей не делали ничего конкретного для минимизации травматизма во время своей профессиональной деятельности. Более половины (n = 144; 54,5 %) опрошенных официальных представителей участвовали в программе на растяжку или гибкость, чтобы свести к минимуму травмы, почти равное число лиц пользовалось услугами личного тренера (n = 35; 13,3 %) или физиотерапевта (n = 36; 13,6 %), а 19 лиц (7,2 %) использовали массаж в качестве средства профилактики травматизма.

Наблюдалась существенная разница в количестве травм в зависимости от графика тренировок. У официальных представителей, которые делали перерыв в тренировках, было значительно меньше травм, чем у тех, кто тренировался круглый год ($2,01 \pm 1,05$ против $2,27 \pm 1,18$ травм, соответственно; $P = 0,031$). Однако 50,9 % официальных представителей, которые тренировались менее 10 часов в неделю, получили травмы по сравнению лишь с 40,5 % лиц, тренировавшихся более 10 часов в неделю ($P = 0,026$) (таблица 6).

Таблица 6 – Влияние профилактических мер и тренировок на количество травм^a

	Количество заявленных травм, %	Количество травм, n	Не требовалось хирургического вмешательства, %
Профилактика травм			
Да (n = 234)	50,9	$2,14 \pm 1,17$	75,0
Нет (n = 30)	65,5	$1,95 \pm 0,89$	70,0
<i>P</i> - значение	0,043	0,13	0,37
График тренировок			
Свободное время	54,1	$2,01 \pm 1,05$	75,3
В течение года	56,2	$2,27 \pm 1,18$	73,2
<i>P</i> - значение	0,36	0,031	0,25
Тренировки			
<10 ч/нед.	50,9	$2,17 \pm 1,14$	74,0
≥10 часов в неделю	40,5	$2,08 \pm 1,08$	75,0
<i>P</i> - значение	0,026	0,31	0,68

Примечание: ^a – данные представлены как среднее значение \pm SD, если не указано иное. Значения *P*, выделенные жирным шрифтом, указывают на статистически значимую разницу между группами ($P < 0,05$).

Обсуждение

В конечном счете, 54,9 % (n = 145) опрошенных официальных представителей ПНФ сообщили о повреждениях, из которых 89,5 % (n = 264) имели травматический характер, а 10,5 % (n = 31) произошли в результате переутомления. Кроме того, 72,4 % (n = 105) обращались за медицинской помощью в связи с травмой. В среднем официальные лица пропускали $22,9 \pm 36,3$ дня соревнований из-за каждой травмы. Наиболее распространенной локализацией травм

были запястье и кисть руки (21,7 %; $n = 64$), голова/лицо (19,7 %; $n = 58$) и колено (15,9 %; $n = 47$). Травмы запястья и кисти включали 23 перелома. Травмы колена и плеча с наибольшей вероятностью требовали хирургического вмешательства ($P < 0,001$). Кроме того, 30 (10,2 %) хирургических вмешательств потребовались из-за острой травмы колена. Профилактика травм была эффективной для снижения риска травматизма ($P = 0,043$). У главных судей и лайнсменов, работавших без перерыва круглый год, было больше травм, чем у тех, кто брал периоды отдыха ($P = 0,031$).

В данном исследовании изучались травмы опорно-двигательного аппарата у главных судей и лайнсменов ПНФ из 45 разных стран. Официальные представители хоккея с шайбой были моложе (средний возраст $31,1 \pm 5,8$ лет), чем судьи в элитном футболе и гэльском футболе [4, 6, 23, 29]. Средний индекс массы тела ($24,9 \pm 5,8$) опрошенных хоккейных официальных представителей был аналогичен, указанному в предыдущих исследованиях футбольных официальных лиц (средний возраст 23–26 лет) [4, 21, 23, 29]. В предыдущей работе для корреляции результативности и состояния здоровья официальных лиц использовался индекс массы тела, равный 25 [8].

В данном исследовании главные судьи и лайнсмены ПНФ продемонстрировали 54,9 % распространенности профессиональных травм, что немного выше данных, представленных в литературе в отношении главных судей в элитных футбольных лигах [4]. Vizzini et al. [4] в исследовании швейцарских футбольных судей высшей квалификации выявили 40 %-ную распространенность профессиональных травм среди опрошенных ими официальных представителей. Еще одно исследование футбольных официальных лиц женщин-судей и женщин-помощников судей, участвовавших в Чемпионате мира по футболу среди женщин 2007 года, выявило 48 % случаев травм в течение их карьеры [3]. Сообщалось, что ежегодный уровень травматизма среди гэльских футбольных официальных лиц составил 58 %, среди официальных лиц, занимающихся ирландским хоккеем на траве, – 52 %, а среди представителей, занимающихся обоими видами спорта, – 42 % [6].

Анатомические локализации и типы травм в представленном нами исследовании были неожиданными и не соответствовали результатам предыдущих исследований с участием судей. Наиболее часто сообщалось о травмах запястья, кисти и пальца ($n = 64$), за которыми следовали травмы головы/лица (сотрясения мозга, рваные раны; $n = 58$) и травмы колена/ноги ($n = 47$). Согласно результатам исследования хорватских футбольных официальных представителей высшего уровня, растяжения икр и голеностопного сустава были наиболее распространенными травмами во время соревнований, а растяжения четырехглавой мышцы и подколенного сухожилия возникали во время фитнес-тренировок [17]. У гэльских спортивных официальных лиц был отмечен высокий уровень травматизма нижних конечностей, причем чаще всего сообщалось о растяжениях подколенного сухожилия и икроножной мышцы [6]. В исследовании швейцарских футбольных официальных представителей растяжения подколенного сухожилия и голеностопного сустава были наиболее распространенными травмами [4].

Данные о травмах, о которых сообщили официальные лица в нашем исследовании, также не соответствовали опубликованным результатам исследований о травмах хоккеистов. Недавнее эпидемиологическое исследование швейцарских хоккейных команд показало, что чаще всего травмы затрагивают бедро и пах, за которыми следуют сотрясения мозга [7]. Исследование хоккеистов на чемпионатах мира по хоккею с шайбой U20 и U18 выявило высокий процент травм головы/лица (рваные раны и сотрясения мозга) в группе U20 [34]. Плечо было наиболее часто травмируемой областью в группе U18 [34]. Сотрясения мозга были наиболее распространенными травмами в мужском хоккее Национальной студенческой спортивной ассоциации, за этим последовали растяжения медиальных коллатеральных связок и ушибы акромиально-ключичного сустава [13]. В другом исследовании травм, полученных на чемпионатах мира и Олимпийских играх среди мужчин по хоккею с шайбой, было выявлено, что травмы головы/лица, медиальной коллатеральной связки и акромиально-ключичного сустава являются наиболее распространенными травмируемыми областями тела [33].

Наиболее простым объяснением высокой частоты травм рук и запястий у официальных лиц в нашем исследовании является отсутствие защитных перчаток во время соревнований. Наиболее распространенной травмой руки или запястья был перелом (таблица 5). Литература о травмах кисти и лучезапястного сустава в хоккее с шайбой ограничена [2, 18, 25, 31]. В эпидемиологическом исследовании хоккеистов мужского и женского колледжей сообщалось об ушибах пальцев и растяжениях запястья [25]. Другое исследование показало, что травмы кисти, запястья и локтя составляли примерно 14 % обращений в отделение неотложной помощи, связанных с хоккеем [10].

Высокий процент травм колена (63,8 %) потребовал хирургического вмешательства ($n = 30$). Предыдущая работа, посвященная травмам футбольных судей Премьер-лиги, показала, что 81 % официальных лиц получили травму колена в период деятельности в качестве главных судей [23]. Дальнейшие исследования, направленные на определение точного механизма и типа травм колена, помогут в разработке стратегий профилактики.

Более половины официальных лиц ПНФ участвовали в мероприятиях по профилактике травматизма, включая целевые программы повышения растяжки или гибкости, использование личного тренера, физиотерапии и массажа. Судьи ПНФ, которые не участвовали в мероприятиях по профилактике травматизма, с большей вероятностью были подвержены травмам (65,5 % против 50,9 % соответственно; $P = 0,043$). Кроме того, у хоккейных официальных лиц, которые работали круглый год без выходных, было больше травм, чем у тех, кто делал специальные перерывы в работе для отдыха ($2,27 \pm 1,18$ против $2,01 \pm 1,05$ травм соответственно; $P = 0,031$). Опасности специализации и перетренированности хорошо описаны в научной литературе [26, 28, 38]. Количество часов тренировок в неделю также влияло на риск получения травм, поскольку 50,9 % официальных лиц, которые тренировались менее 10 часов в неделю, получили травмы в отличие от 40,5 % официальных лиц, которые посвящали тренировкам 10 часов в неделю ($P = 0,026$). Стратегии профилактики

травматизма и перерыв на отдых в судействе способны снизить риск получения травм. О некоторых тактиках профилактики травматизма сообщалось в исследованиях с участием футбольных судей [4].

Примечательно, что только 72,4 % (n = 105) официальных лиц (n = 145) обратились к врачам за медицинской помощью по поводу своих травм. Это может быть связано с тем, что спортивные тренеры или другие члены медицинского персонала способны оказать первую помощь главным судьям и лайнсменам во время матча. Однако это также может указывать на сложности доступа официальных лиц к медицинской помощи с участием квалифицированных врачей. Профессиональные и международные команды по хоккею с шайбой часто тесно сотрудничают со штатным врачом команды, при этом официальные представители (главные судьи и лайнсмены) по хоккею с шайбой не имеют такой возможности. Такое положение представляется потенциальным условием для разработки специального протокола, согласно которому травмированные официальные лица должны проходить осмотр с участием квалифицированного врача. ИИФ рекомендовала включить официальных лиц в систему отчетности о травмах, что повысит возможность выявления травм и улучшит доступ к медицинской помощи. Кроме того, ИИФ может рассмотреть вопрос о найме дополнительного врача для оказания медицинской помощи официальным лицам во время соревнований ИИФ.

Заключение

Большинство хоккейных официальных представителей в течение своей карьеры сталкивались с травмами опорно-двигательного аппарата. Знание характера травм, полученных хоккейными официальными представителями поможет медицинскому персоналу диагностировать и лечить травмы этой особой группы спортивных деятелей и давать направление будущим исследованиям по профилактике травматизма. Риск травм запястья и кисти, возможно, можно было бы снизить путем модификации снаряжения, включая защитные перчатки. Следует уделять больше внимания программам профилактики травматизма и поощрять официальных лиц время от времени покидать ледовые арены и брать периоды отдыха на восстановление. Мы поддерживаем рекомендацию ИИФ о внесении официальных лиц в систему отчетности о травмах.

Статья содержит 38 источников литературы, с которыми можно ознакомиться по адресу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9465570/>.

Перевод с английского *Л.И. Купчакбаевой*