



Министерство спорта и туризма Республики Беларусь

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

**Цикл научно-практических мероприятий
«СОВРЕМЕННЫЕ СПОРТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ПОДГОТОВКЕ ОЛИМПИЙСКОГО РЕЗЕРВА
И СПОРТСМЕНОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ»**

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ИЗБРАННЫХ ВИДАХ СПОРТА**

Научно-практический семинар
октябрь 2021
Минск



ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

<i>Возможности системы видеоанализа движений UltraMotion Pro SPORT для оптимизации программы подготовки спортсменов.....</i>	<i>3</i>
Агафонова М.Е.	
<i>Электронные тренажеры в системе спортивной подготовки в таэквондо</i>	<i>7</i>
Харькова В.А.	
<i>Технологии Big Data: пример эффективного применения в конькобежном спорте</i>	<i>11</i>
Быков Д.Ю.	
<i>Разнообразие тренировочного процесса: тренажер BLAZEPOD.....</i>	<i>13</i>
Ермалович О.О., Сосульников В.В.	
<i>INSIDETRACKER как инновационная технология разработки комплексных индивидуализированных двигательных и нутритивных стратегий в спорте</i>	<i>16</i>
Разуванов В.М.	
<i>Влияние степени сгибания в коленном суставе на результативность теннисной подачи у теннисистов среднего уровня подготовленности</i>	<i>25</i>
Анализ зарубежной публикации	

Возможности системы видеоанализа движений

UltraMotion Pro SPORT и UltraMotion Pro FAST

для оптимизации программы подготовки спортсменов

Агафонова М.Е., начальник информационно-аналитического отдела БГУФК, доцент кафедры спортивной медицины БГУФК, кандидат биологических наук

Поиск и обоснование наиболее эффективных способов выполнения физических упражнений и повышение экономичности движений являются необходимыми условиями роста спортивного мастерства и результатов в соревновательной деятельности спортсменов. Поэтому изучение кинематических характеристик спортивных локомоций традиционно применяется комплексными научными группами в спорте высших достижений с национальными командами и подготовке спортсменов высокой квалификации по видам спорта для поиска путей совершенствования техники выполнения соревновательных упражнений.

В связи с этим для определения пространственно-временных характеристик упражнений и использования полученных результатов в педагогическом процессе для формирования оптимальной структуры соревновательного упражнения в различных видах спорта могут быть использованы диагностические комплексы UltraMotion Pro SPORT и UltraMotion Pro FAST [3].

Комплекс UltraMotion Pro SPORT – высокопроизводительный аппаратно-программный комплекс, предназначенный для объективной количественной оценки кинематических характеристик спортивных локомоций. Комплекс разработан для биомеханического контроля моторики спортсмена в учебно-тренировочном процессе и может быть использован как для оснащения биомеханических лабораторий, так и для выездных исследований (рисунок 1).

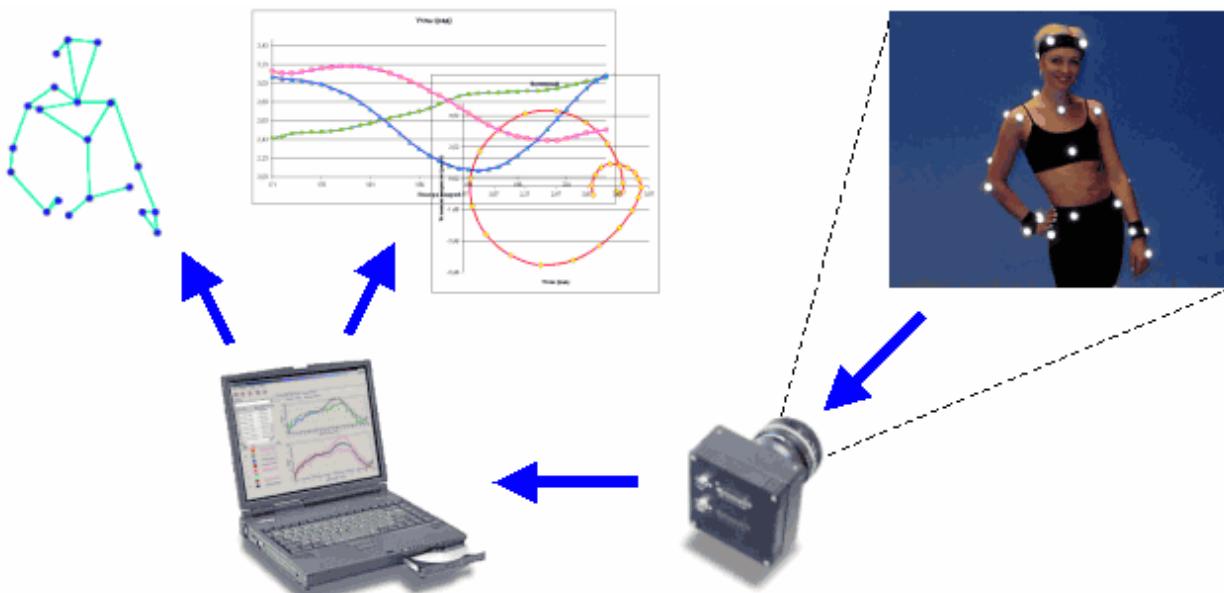


Рисунок 1 – Комплекс UltraMotion Pro

Технология видеоанализа предполагает дистанционный захват исследуемого спортивного движения с последующей математической обработкой выбранной биомеханической модели и наглядным представлением результатов в виде графиков и диаграмм. Легкие светоотражающие маркеры, устанавливаемые на тело спортсмена, не ограничивают его двигательную активность и неискажают характер спортивного движения. **Система UltraMotion Pro SPORT** предназначена для анализа биомеханических моделей с любым количеством светоотражающих маркеров, необходимым для исследования целостного двигательного акта.

Регистрирующим элементом системы видеоанализа движений UltraMotion Pro SPORT является специализированная скоростная видеокамера. Данные в компьютер поступают в режиме online с использованием протоколов, разработанных для систем машинного зрения. Видеосъемка осуществляется с частотой до 200 кадров в секунду, достаточной для исследования кинематики быстрых спортивных локомоций.

При помощи программного обеспечения можно управлять параметрами работы видеокамеры и задавать ту или иную скорость съемки для различных типов биомеханических исследований. Сменная профессиональная оптика повышает точность измерений, минимизируя видеопомехи «краевые aberrации».

Пакет программ системы видеоанализа движений UltraMotion Pro SPORT позволяет производить сравнительный анализ хранящихся в базе данных результатов исследования нескольких спортсменов или одного спортсмена в разные периоды времени для оценки динамики тренировочного процесса. При анализе кинематики циклических упражнений используется усреднение по нескольким попыткам с применением методов математической статистики для изучения общих и индивидуальных закономерностей техники спортивного движения. Видеоанализ движений с успехом используется при обучении молодых спортсменов технике спортивных движений, а также для профессиональной подготовки специалистов по биомеханике и спортивных педагогов.

В комплекс UltraMotion Pro SPORT входят: высокоскоростная видеокамера, прожектор-осветитель постоянного света, штативы, складной тест-объект, набор световозвращающих маркеров для бесконтактной диагностики, программное обеспечение для проведения полного цикла анализа кинематики быстрых спортивных локомоций, персональный компьютер.

Система биомеханического анализа UltraMotion Pro FAST – это оптико-электронная система биомеханического анализа, которая специально разработана для анализа быстрых спортивных локомоций. Достоинства технологии биомеханической видеосъемки – дистанционный характер захвата целостного двигательного акта и возможность включения в модель исследования любого количества световозвращающих маркеров – делают эту технологию золотым стандартом исследования биомеханических систем. Регистрирующим элементом аппаратно-программного комплекса UltraMotion Pro FAST является высокопроизводительная скоростная промышленная видеокамера, ко-

торая в отличие от камер, передающих видеопоток в компьютер в online-режиме, оснащена встроенной памятью. Видеосъемка происходит непосредственно в память камеры, чем достигаются высокие скорости съемки и полностью исключается потеря кадров. Специалист имеет возможность в процессе работы использовать сменные объективы камеры с характеристиками, подходящими под конкретные исследовательские задачи.

Максимальная скорость видеосъемки составляет 1000 кадров в секунду при полном разрешении, а с уменьшением разрешения может быть увеличена в несколько раз. Видеосигнал передается в компьютер через интерфейс GigE Vision, специально разработанный для систем машинного зрения, который обеспечивает передачу высокоскоростного видео и управляющих сигналов между компьютером и видеокамерой по стандартному гигабитному Ethernet-протоколу без использования специальных «фреймграбберов» и кабелей.

Управление видеокамерой осуществляется как с помощью компьютера, так и дистанционным пультом. Дистанционный характер управления съемкой дает возможность совместно работающим тренеру и биомеханику оперативно корректировать технику спортивного движения при подготовке спортсменов высокой квалификации. В составе оптико-электронной системы биомеханического анализа UltraMotion Pro FAST дополнительно может быть мобильная видеокамера, с помощью которой можно производить видеосъемку как на штативе стационарно, так и «с рук», например, на открытом стадионе или спортивной площадке.

Технические возможности комплекса UltraMotion Pro FAST позволяют осуществлять:

- анализ быстрых локомоций в спорте высших достижений;
- сравнительный анализ биомеханических характеристик спортивного движения спортсменов высокой квалификации и спортсменов, проходящих подготовку;
- коррекцию ошибок и определение оптимального двигательного стереотипа на основе анализа биомеханических характеристик, обоснование локомоторного перевоспитания;
- подбор эффективных средств технической подготовки спортсменов;
- разработку новых тренировочных методик и эффективного спортивного инвентаря;
- фиксацию и наглядную демонстрацию минимальных, визуально не определяемых результатов тренировок тренерам и спортсменам.

Эффективность использования диагностических комплексов UltraMotion Pro SPORT и UltraMotion Pro FAST в программе научно-методического обеспечения подготовки спортсменов высокой квалификации достоверно подтверждается многочисленными исследованиями специалистов в сфере биомеханического анализа движений спортсмена [1, 2, 4].

Таким образом, в настоящее время современный тренер с помощью системы биомеханического анализа UltraMotion Pro может осуществлять педагогическое наблюдение с проведением видеосъемки соревновательных упраж-

нений, определять координаты общего центра масс тела спортсменов, проводить биомеханические расчеты кинематических и динамических характеристик соревновательных упражнений в различных видах спорта. Поэтому система видеоанализа движений UltraMotion Pro может эффективно использоваться для научных исследований в области физической культуры и спорта на кафедрах теории и методики спортивных специализаций научно-исследовательских институтов и учреждений высшего образования.

Источники

1. Современные методы оценки функционального состояния организма и физической работоспособности военнослужащего при решении научно-исследовательских задач биомедицинской направленности / А. М. Герегей [и др.] // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2018. – № 2 (62). – С. 202–207.
2. Корягина Ю. В. Научно-методическое обеспечение сборных команд в спортивных играх / Ю. В. Корягина, В. А. Блинов, С. В. Нопин. – Омск: Изд-во СибГУФК, 2016. – 130 с.
3. Оптико-электронные системы биомеханического анализа [Электронный ресурс]. Система видеоанализа движений Ultra Motion Pro SPORT и Ultra Motion Pro FAST. – Режим доступа: <https://videomotion.ru/sistema-videoanaliza-dvizhenij-sportsmenov-ultramotion-pro-sport/>. – Дата доступа: 11.10.2021.
4. Шахдади, А. Н. Сравнительный биомеханический анализ метания молота спортсменами различной квалификации / А. Н. Шахдади, О. И. Загревский, В. И. Загревский // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 368. – С. 148–151.

Электронные тренажеры в системе спортивной подготовки в таэквондо

Харькова В.А., заведующий кафедрой боевых единоборств и специальной подготовки, ведущий специалист Центра координации научно-методической и инновационной деятельности, кандидат педагогических наук

Успешность выступления таэквондистов на соревнованиях в основном зависит от умения технически правильно выполнять различные атакующие и защитные действия, быстро и своевременно маневрировать и учитывать дистанцию до соперника.

Специальные технические средства способствуют эффективному развитию двигательных способностей спортсмена, одновременно совершенствуя технические умения, навыки и физические качества во время спортивной тренировки, создают необходимые условия для точного контроля и управления важнейшими параметрами тренировочной нагрузки. Таким образом, моделирование технико-тактической подготовки в таэквондо с использованием тренажерных устройств является актуальным и требует тщательного исследования и внедрения в учебно-тренировочный процесс таэквондистов [1].

По мнению специалистов, использование специализированных тренажеров позволяет обучить атакующим и защитным действиям быстро, эффективно и без травм [3, 4]. Методика совершенствования атакующих действий рассчитана на применении тренажерных устройств в режиме скоростно-силовой выносливости, для стабилизации параметров основного двигательного действия.

В настоящее время польза от применения специальных тренажерных устройств в подготовке единоборцев вряд ли вызывает у кого-либо сомнение. Вопрос возникает только о методике их использования, – на каком этапе, какие упражнения и в каком количестве можно применять, каков должен быть вес отягощения и т. д. Успешное решение этих проблем во многом зависит от разработки специальных тренажерных устройств. В настоящее время ведется активный поиск новых форм и методов, позволяющих повысить качество технико-тактической подготовки таэквондистов. В поисках новых путей повышения эффективности системы спортивной тренировки все актуальнее звучит положение о том, что важным средством повышения эффективности учебно-тренировочного процесса является применение тренажеров и специальных стендов [2].

Каждомуциальному тренажеру соответствует особая методика тренировки, позволяющая наиболее полно использовать потенциальные возможности системы «человек – тренажер» и добиться наибольшей эффективности тренировки таэквондистов.

Одним из примеров таких тренажеров можно назвать специальные смарт-лапы, разработанные Ludus Materials Ltd (высокотехнологичная компания, специализирующаяся на тренировке и тестировании оборудования для единоборств) [5].



Рисунок 1 – Смарт-лапа

Система симуляторов Ludus Combat Simulator (CS-System) – это уникальная тренировочная система, которая позволяет тренерам и спортсменам объективно измерять и анализировать различные параметры ударов.

Данная система позволяет регистрировать следующие параметры:

1. Время простой реакции.
2. Время сложной реакции выбора, которое требуется спортсмену, чтобы отреагировать на стимулы, когда им предложено несколько вариантов.
3. Выносливость (продолжительность нагрузки, которую может выдержать спортсмен).
4. Мощность (сила удара).
5. Высота удара.
6. Количество попаданий по мишени.
7. Количество ошибок.

Смарт-лапа работает, используя идентификационный браслет в качестве персонального идентификатора для каждого спортсмена с системой. Перед началом тренировки со «смарт-лапами» спортсмен подключает свой идентификационный браслет к ним.

Специальное программное приложение CS-Paddle сохраняет данные о тренировке в соответствии со спортсменом и его браслетом.

Затем тренер загружает данные из смарт-лапы (т. е. синхронизирует ее), что позволяет как спортсмену, так и тренеру просматривать результаты в приложении для тренеров и спортсменов.

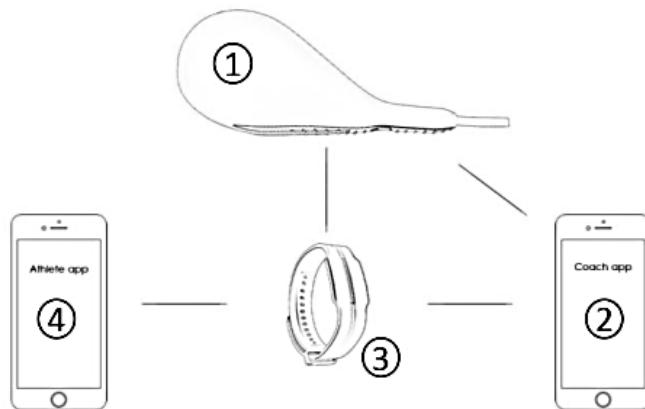


Рисунок 2 – Синхронизация смарт-лапы с браслетом и приложениями

Рукоятка смарт-лапы изготовлена с использованием специальной технологии, которая обеспечивает высокий уровень амортизации, уменьшая воздействие, получаемое оператором. На каждой стороне смарт-лапы есть сигнальные огни, которые мигают разными цветами, в зависимости от тренировочного упражнения (любой синхронизированный режим от начала до конца) или выполняемой функции.

Смарт-лапа имеет три тренировочных световых сигнала: удар, ложный сигнал и темп.

Они представлены тремя разными цветами:

Зеленый (удар) сигнализирует спортсмену о том, что он должен нанести удар в целевую область, на стороне которой появился световой сигнал.

Синий (ложный) сигнализирует спортсмену, чтобы он не наносил удар в целевую зону. Если он это сделает, это будет расценено как ошибка.

Фиолетовый (темп) сигнализирует спортсмену о том, что он должен ударить как можно больше раз в течение выбранного периода времени.

Смарт-лапа работает в трех режимах: фристайл, временной интервал, выносливость.

В режиме фристайла нет ограничений по времени и можно использовать как ударные, так и поддельные сигналы.

Режим временного интервала позволяет оператору смарт-лапы устанавливать временные рамки для упражнения спортсмена. В этом режиме могут быть активированы как ударные, так и поддельные сигналы.

Режим выносливости также ограничен по времени. Оператор может установить определенное время на панели управления (например, 2 минуты, 5 минут) для выполнения упражнения.

Подключенный спортсмен должен затем ударить как можно больше раз в течение выбранного периода времени. В последние 10 секунд упражнения начнет мигать фиолетовый индикатор, чтобы спортсмен знал, что упражнение почти закончено. В последние 5 секунд упражнения таймер начнет мигать, давая оператору знать, что время почти истекло.

Кроме смарт-лап существуют и другие подобные тренажеры. Например, электронная подушка KICKBANG от технологической компании iCROSS предназначена для соревнований, игр и тренировок среди таэквондистов любых возрастов. За счет использования оборудования беспроводной связи, KICKBANG отличается высокой надежностью, а также есть возможность записать измерения показателей ударов. Кроме того, возможно использовать датчик, который выберет самый лучший удар. KICKBANG состоит из двух подушек (целей). Разноуровневое расположение целей поможет расширить область обучения. Сенсорная технология в сочетании с беспроводной связью проста и удобна в использовании. Система KICKBANG позволяет осуществлять преднастройку пользователя в зависимости от пола, роста, весовой категории и уровня подготовленности. KICKBANG способна записать и проанализировать все ударные сессии. Также можно просматривать историю предыдущих результатов. Имеется вывод результатов на печать. Все эти возможности позволяют систематизировать и вносить коррекции в план тренировок.



Рисунок 3 – Специальные ударные подушки

Еще существует специальная ударная подушка Zemita Zess Pad, которая фиксируется на различные подходящие боксерские груши и макивары. Данная подушка является тренировочным и соревновательным тренажером, который производит замер силы, скорости и времени реакции ударов. Для работы необходим специальный трансмиттер.

Следует отметить, что специальные тренажерные устройства могут быть использованы при разумной методике на любом этапе подготовки, причем их роль с ростом спортивного мастерства спортсменов повышается. Применение специфических тренажеров способствует разработке и формированию новых подходов, управления и контроля учебно-тренировочного процесса в таэквондо, а также максимально приблизить условия обучения и совершенствования к реальной соревновательной деятельности. Технические средства в наибольшей степени обеспечивают выполнение педагогических требований в процессе формирования навыков при реализации динамических ситуаций, сокращают сроки обучения, позволяют моделировать и решать тактические задачи поединка.

Источники

1. Арканія Р. А. Наукова концепція дослідження моделювання техніко-тактичної підготовки в таеквондо / Р. А. Арканія // Nastolení moderní vědy – 2015 : materiály XI Mezinárodní vědecko-praktická konference, 27 září – 05 října 2015. – Praha : Publishing House «Education and Science» s.r.o. – Díl 6. Matematika. Fyzika. Moderní informační technologie. Technické vědy. Výstavba a architektura. Tělovýchova a sport. – S. 65–67.
2. Зенченко, И. С. Моделирование технико-тактической подготовки в тхэквондо с использованием тренажерных устройств : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 / И. С. Зенченко. – М., 2007. – С. 12–24, 36–61.
3. Ишков, В.С. Обучение основным атакующим действиям спортивного карате с использованием тренажерных устройств: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04 / В.С. Ишков. – М., 1998. – 28 с.
4. Ишков, А. В. Подготовка единоборцев в боевом самбо с использованием технических средств: автореф. дис.... канд. пед. наук: 13.00.04 / А.В. Ишков. – М., 2004. – 25 с.
5. LUDUS combat simulator system CS-training. User manual [Electronic resource]. – 2021. – Mode of Access: https://ludusalliance.shop/wp-content/uploads/2020/04/GeneralUG_EN_11_Final-ENG.pdf. – Date of Access: 12.09.2021.

Технологии Big Data: пример эффективного применения в конькобежном спорте

Быков Д.Ю., ведущий специалист информационно-аналитического отдела БГУФК

Известно, что одним из основоположников научного подхода к тренировочному процессу, в основе которого лежало использование комплексной аналитической работы с помощью ЭВМ уже в 70–80-х годах прошлого столетия, был СССР. С тех пор тренеры, спортсмены и даже спонсоры стараются как можно более широко использовать технологии работы с информацией.

Едва ли сегодня найдется вид спорта, в котором не используются какие-либо специфические параметры и коэффициенты, характеризующие эффективность действий отдельных спортсменов или команд в целом, которые ранее просто не выявлялись и не использовались аналитиками.

В этой работе мы предлагаем Вам вместе с нами взглянуть на один из ключевых компонентов успеха голландских конькобежцев на зимних Олимпийских играх 2018 года.

В мире конькобежного спорта Jac Orie очень хорошо известен. Он подготовил большое количество конькобежцев, в том числе завоевавших олимпийское золото в 2002, 2006, 2010 и 2014 году. Кроме того, что его спортсмены выиграли огромное количество медалей, после них осталось еще кое-что очень и очень ценное: большое количество данных. Это, в свою очередь, позволило еще более остро и даже в некотором смысле локально подойти к вопросам, связанным с подготовкой команды к зимним Олимпийским играм 2018 года в Пхёнчхане (Южная Корея).

Подход к аналитической работе, в основе которого лежит использование вычислительных мощностей, оперирующих огромным количеством самых разнообразных данных, привел к возникновению множества полезных идей. Так, например, он позволил однозначно установить соотношение между типом тренировки, ее продолжительностью и интенсивностью, а также временем дня. Огромную пользу от этого получил конькобежец Kjeld Nuis. Полученная информация указала на то, что тренировки, предназначенные для развития выносливости, выполнявшиеся в утренние часы, оказались для него значительно менее эффективными. Понимание этого привело к совершенствованию его тренировочной программы и, в том числе, двум золотым медалям на Олимпиаде в Пхёнчхане [1].

Главной целью Олимпийского комитета Нидерландов в преддверии Олимпийских игр в Пхёнчхане 2018 года было попадание в пятерку лучших в итоговом медальном зачете. Особый интерес решение этой задачи вызывает в условиях, когда количество спортсменов, обладающих высокой конкурентоспособностью, слишком велико. А поскольку лишь ограниченное их число может представлять каждую страну, процесс отбора на Олимпиаду – дело рискованное, особенно в Нидерландах. На каждом их отборочном соревновании имеется слишком большой пул потенциальных медалистов [2].

Чтобы решить связанные с этой целью задачи, специалисты собирали данные, разрабатывали модели, алгоритмы и анализировали множество сценариев стабильности принятия решений по отношению к возможным неопределенностям параметров данных (весовых коэффициентов и др.). Пожалуй, ключевыми элементами системы оптимизации количества завоеванных медалей были ответы на следующие вопросы: что именно мы подразумеваем под «вероятностью выигрыша» и как же ее оценить? Для этого использовалось финишное время спортсменов в международных турнирах за последние два сезона с приятием большего веса более поздним турнирам и множество других входных данных.

В конечном счете в Нидерландах была создана система, в настоящее время широко поддерживаемая как спортсменами, так и персоналом Королевской федерации конькобежного спорта. Она позволяет принимать обоснованные решения об отборе во многих спорных случаях. Самый, пожалуй, яркий пример её функционирования связан с финальными олимпийскими отборочными испытаниями, которые проводились в Heerenveen в 2017 году. Главными функционерами федерации утверждалось, что последняя гонка в финальный день отбора была лишней и что у двух спортсменок, к ней готовящихся, не было шансов попасть на Олимпиаду. Тем не менее разработчики системы были уверены в обратном, поскольку об этом свидетельствовали расчеты. Одна из конькобежек, Esmee Visser, в матрице результатов и решении оптимальной целочисленной линейной модели имела очень высокую ценность. Так уже через два месяца она стала обладательницей золотой олимпийской медали на дистанции 5 км.

Спортсмены и тренеры, стремящиеся не только оптимизировать свою деятельность, но и завоевывать медали, уже стараются следовать примеру и перенимать лучшие практики голландских конькобежцев. Вопрос лишь в том, хотите ли и Вы быть среди них?

Источники

1. Big Data Olympics: the secret behind the Dutch speed skaters' successes [Electronic resource]. – Mode of access: <https://blog.unbelievable-machine.com/en/big-data-olympics>. – Date of access: 05.10.2021.
2. The Dutch approach in Selecting Olympic Speed Skaters [Electronic resource]. – Mode of access: <https://pubsonline.informs.org/do/10.1287/orms.2021.02.09/full/>. – Date of access: 05.10.2021.

Разнообразие тренировочного процесса: тренажер BLAZEPOD

Ермалович О.О., Сосульников В.В., ведущие специалисты информационно-аналитического отдела, методисты центра «Высшая школа тренеров» БГУФК

Новая технология (BlazePod™), которая измеряет время отклика (RT), в настоящее время представлена на рынке и используется профессионалами в области силовой и физической подготовки. BlazePod – устройство, которое помогает спортсменам разнообразить тренировки в спортзале. Оно оснащено вспышкой, которая подает сигнал владельцу, что пора совершить определенное действие. Какое конкретно – это зависит от выбранного упражнения. Тренажер отвечает всем требованиям современных тренировок – работает в связке со смартфоном, поэтому у вас всегда будет быстрый доступ к аналитике вашего спортивного прогресса [1].

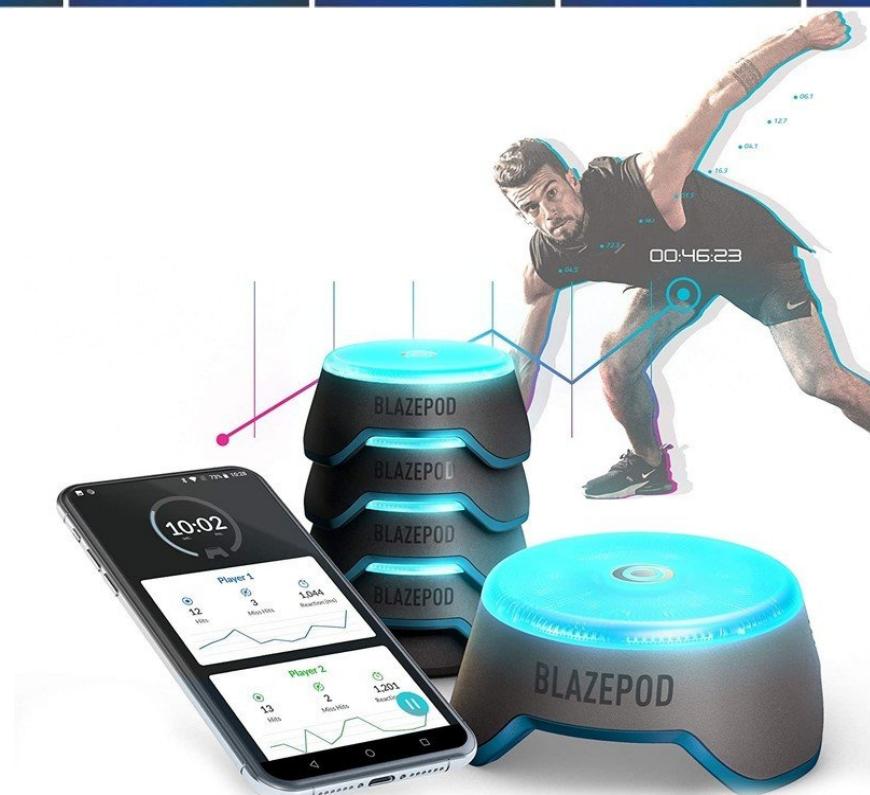
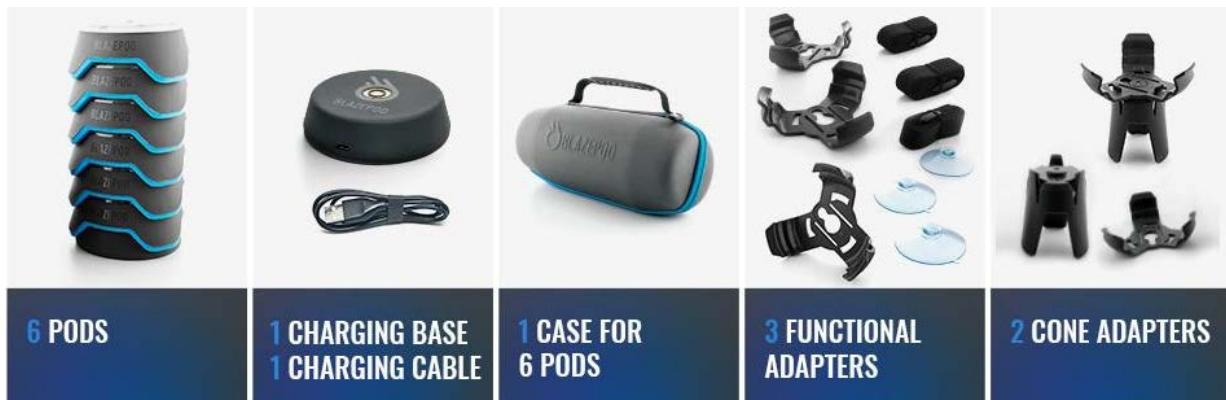


Рисунок 1 – Тренажер BlazePod™

Тренеры могут использовать как одно, так и несколько устройств BlazePod, работающих в связке. По словам создателей, при помощи BlazePod можно сформировать больше сотни упражнений на разные группы мышц. По заявлению создателей устройства, применение BlazePod помогает улучшить тренировки, используя визуальные подсказки и побуждает спортсменов проверить свою скорость и время реакции. Комплекс позволяет просматривать различные учебные модули и измерять показатели с точностью до миллисекунды. Модули ударо- и водостойкие, имеют емкий аккумулятор, позволяющий проводить тренировки до 8 часов без подзарядки в экстремальных тренировочных условиях.

Известно, что тренировочные упражнения через несколько этапов подготовки становятся недостаточно эффективными для развития необходимых двигательных способностей. С помощью тренажера BlazePod можно решить эту педагогическую задачу посредством использования специального алгоритма, генерирующего сигналы в случайном порядке, что позволяет избежать монотонии при выполнении большого объема физических упражнений.

Создатели разработали специальную рефлекторную систему «Flash-Reflex», которая позволяет связывать смартфон с устройством. Проблема заключается в том, что протокол Bluetooth Low Energy (BLE) не оптимизирован для двусторонней связи «один-ко-многим». Его использование привело бы к задержке в реальной производительности и неточным измерениям или даже не позволило бы модулям работать вообще.

Для BlazePod была разработана собственная программная платформа, которая позволяет создавать двунаправленный беспроводной протокол поверх стандарта BLE, доступного на любом смартфоне. Таким образом, удалось значительно оптимизировать время передачи данных, чтобы мобильное приложение BLAZEPOD могло точно измерять действия каждого пользователя, независимо от количества используемых модулей или количества обучаемых, использующих систему. Это означает, что BlazePod надежен, быстр и точен в измерениях в диапазоне до 50 м, даже при одновременном подключении нескольких модулей. В библиотеке приложения BLAZEPOD находятся десятки упражнений, которые разбиты по категориям по различным направлениям профессионального спорта, фитнеса и занятий для реабилитации.

Комплекс упражнений, который представлен в программном обеспечении тренажера, помогает тренерам легко включить использование тренажера в программу тренировок, особенно на первых этапах использования BLAZEPOD. Библиотеку упражнений можно регулярно обновлять через сеть Интернет, пополняя новыми упражнениями и вносить разнообразие в тренировочным процесс.

Большинство упражнений с BlazePod направлены на развитие реактивной координации или ловкости. В отличие от спланированной координации при одиночном выполнении упражнений, где спортсмен оттачивает навыки и скорость в статичных условиях, при реактивных упражнениях он также учится следить за внешней средой. Совершенствование простой двигательной реак-

ции для спортсмена представлено в игровой форме, при этом спортсмену становится необходимо постоянно реагировать на изменяющиеся условия и обстановку вокруг себя.

Эффективность использования тренажера была убедительно продемонстрирована в исследованиях бразильских ученых, которые оценили надежность (повторяемость) повторного тестирования технологии BlazePod™ в течение заранее определенного действия, чтобы предоставить информацию об уровне согласия и величине ошибок, возникающих при использовании технологии. Эта информация может помочь практикам и исследователям в использовании технологии BlazePod [2].

Источники

1. Blazepod Flash Reflex Training System for All Types of Sports [Electronic resource]. – Mode of access: https://blazepod.eu//?utm_source=organic&utm_medium=redirect. – Date of access: 05.09.2021.
2. Test-Retest Reliability of a Visual-Cognitive Technology (BlazePod™) to Measure Response Time / A. de-Oliveira Levy [et al.] // Journal of Sports Science and Medicine. – 2020. – № 19. – P. 179–180.

INSIDETRACKER как инновационная технология разработки комплексных индивидуализированных двигательных и нутритивных стратегий в спорте

Разуванов В.М., ведущий специалист информационно-аналитического отдела, старший преподаватель кафедры менеджмента туризма и гостеприимства БГУФК

Одним из наиболее популярных направлений развития инноваций в области научно-технологического обеспечения спортивной деятельности является нутритивная поддержка в сочетании с другими факторами, в первую очередь – двигательной нагрузкой. Это вполне объяснимо, поскольку без наличия последней эффективность всей тренировочной программы может быть сведена к нулю. Более того, без соответствующего обеспечения необходимым многообразием питательных веществ, витаминов, макро- и микроэлементов, занятия спортом могут привести к самым тяжелым исходам, негативно отразиться не только на физической работоспособности, но и серьезно навредить здоровью спортсменов.

Одним из наиболее популярных продуктов на рынке систем нутритивной поддержки является InsideTracker [1], в 2021 году возглавивший рейтинг подобного рода технологических платформ [1].

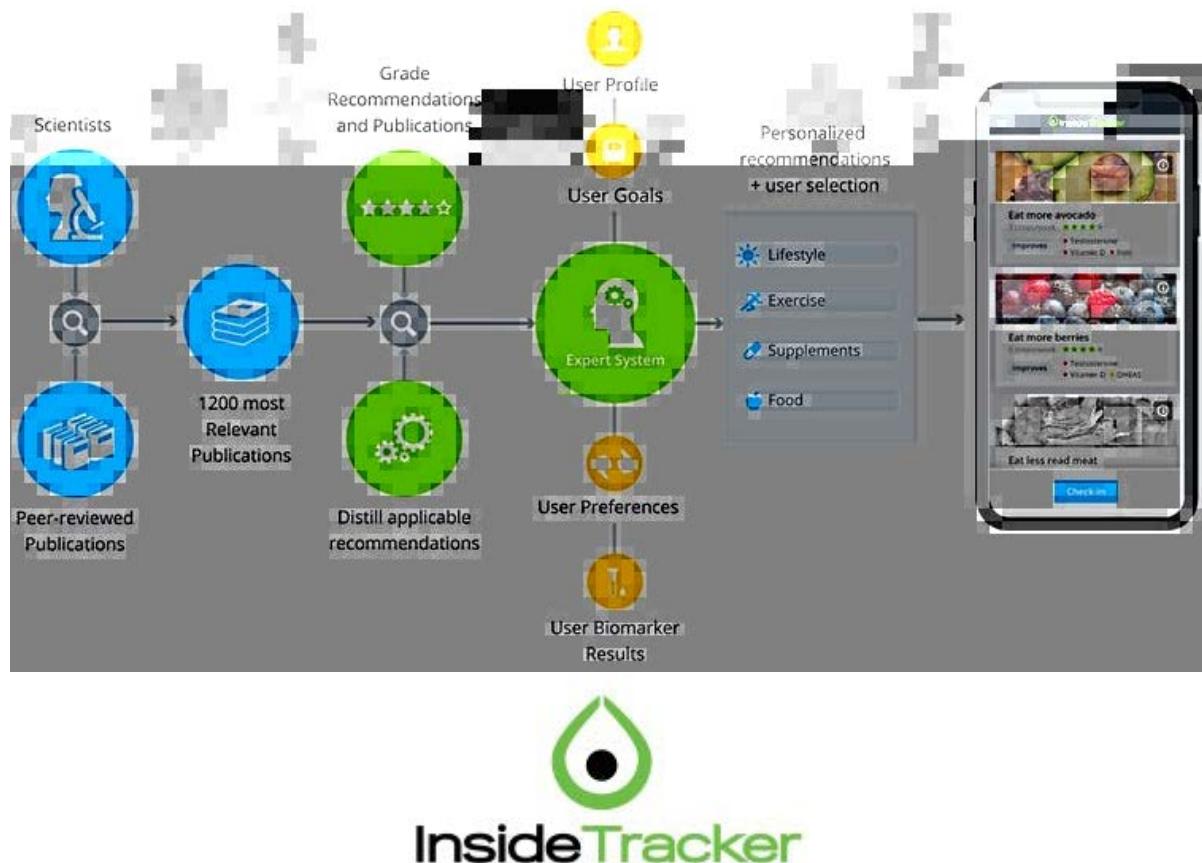


Рисунок – Принцип работы платформы InsideTracker [1]

InsideTracker был основан в 2009 году экспертами в области геронтологии, генетики и анализа биометрических данных из Гарвардского университета, Массачусетского технологического института и Университета Тафтса.

В качестве целевых групп компания рассматривает профессиональных спортсменов, лиц, ведущих здоровый образ жизни, родителей, заинтересованных в полноценном питании и двигательной активности детей.

Использование только достоверных и новейших научных данных является изначальным условием для создателей платформы InsideTracker. Компания постоянно совершенствует собственные технологии, используя также анализ больших данных, непрерывно получаемых компанией от ее пользователей.

В основе разработки индивидуализированных стратегий нутритивной поддержки лежит анализ ДНК и тестирование биомаркеров крови. ДНК-анализ при этом создает фундаментальную основу для разработки рекомендаций, а мониторинг показателей крови позволяет оперативно вносить изменения в планы нутритивной поддержки пользователей данного продукта.

Сотрудники компании акцентируют внимание на том, что каждый организм является индивидуальным, равно как индивидуальны цели, которые ставит перед собой индивид, следовательно, любые общие рекомендации в области питания, двигательной активности и образе жизни являются фундаментально неэффективными, а зачастую – опасными.

По утверждению основателей компании, люди в течение дня принимают более 200 решений в отношении питания, при этом персонализированное питание, наряду с упражнениями и здоровыми привычками, является самым мощным средством в борьбе с хроническими заболеваниями и лучшим способом поддерживать состояние здоровья. Находящиеся в алгоритмах InsideTracker более 8000 продуктов питания, изученных на фундаментальной научной основе, позволяют разработать практически неограниченное количество индивидуальных программ питания.

После поступления результата анализа крови, совместно с пользователем разрабатывается план действий по оптимизации состояния здоровья, или достижению определенного уровня целевых показателей. По мере реализации разработанной стратегии питания идет отслеживание ключевых показателей, которые интегративно представляют то, насколько тот или иной пользователь приблизился к желаемому уровню (обычно – уровню биомаркеров), тесно связанных с индивидуальной целью.

Наличие нескольких результатов анализа крови позволяет оценить, каким образом разработанные рекомендации влияют на показатели с течением времени. Это информация является критически важной, поскольку, по утверждению разработчиков, единственный способ узнать, работает ли та или иная стратегия – проверить ее на практике и измерить прогресс – нет смысла идти по определенному пути, если он просто «не работает» для конкретного человека.

Рассмотрим более подробно биомаркеры, и в целом, технологии, используемые в InsideTracker.

Как уже было указано, по мнению разработчиков InsideTracker – нет и не может быть двух одинаковых организмом, в связи с чем и проводится анализ биомаркеров, используя передовые научные достижения и технологии.

Биомаркер – это биологический индикатор внутреннего состояния организма, который можно выявить посредством анализа крови. Отслеживание биомаркеров через регулярные промежутки времени и по индивидуализированному протоколу может улучшить состояние здоровья, физическую работоспособность и общее благополучие. Биомаркеры, используемые InsideTracker, разделяются по преимущественному воздействию на те, или иные системы или органы.

Энергия и метаболизм

Повышение уровня энергии и управление метаболизмом необходимы для улучшения общего состояния здоровья и физической формы. Ключевые биомаркеры дают представление о метаболизме и могут своевременно информировать о признаках, указывающих на то, что режим питания и нагрузки не являются оптимальными, помогая предотвратить долгосрочные риски для здоровья. К ним относятся:

Холестерин – воскообразное жироподобное вещество, которое является неотъемлемой частью каждой клетки. Нормальный уровень холестерина важен для поддержания энергетики, активного обмена веществ, а также здоровья сердца и кровеносной системы. Однако, в случае, если организм производит избыток холестерина, он циркулирует в кровотоке и повышает риск сердечно-сосудистых патологий.

Липопroteины высокой плотности (ЛПВП) обладают антиатерогенными и антиоксидантными свойствами, модулируют воспалительные процессы, свертывание крови и вазомоторные реакции, способствуют иммунным реакциям и межклеточной передаче сигналов. Высокая концентрация ЛПВП существенно снижает риск атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний. ЛПВП иначе называют «хорошим холестерином» (альфа-холестерином)

Липопroteины низкой плотности (ЛПНП) также известные как «плохой» холестерин, переносят холестерин по всему организму, доставляя его в различные органы и ткани. Оптимальные уровни ЛПНП связаны с повышением общего энергообмена, улучшением метаболизма и повышением здоровья сердца, однако избыток «плохого холестерина» связан с риском атеросклероза.

Триглицериды важны для поддержания энергетического баланса, улучшения обмена веществ и укрепления здоровья сердца. Однако высокий уровень триглицеридов связан с нарушениями работы сердца, высоким уровнем глюкозы натощак, избыточным весом и отсутствием физической активности.

Глюкоза всасывается непосредственно или образуется в результате расщепления сложных углеводов и может легко преобразовываться в энергию. Оптимальный уровень глюкозы критически важен для поддержания гомеостаза, обеспечения функционирования нервной системы, также глюкоза стабилизирует кровяное давление, обеспечивает оптимизацию и контроль массы

тела. Однако повышенный уровень глюкозы в крови связан с набором избыточной массы тела, риском диабета, высокого кровяного давления и сердечными патологиями.

Сила и выносливость

Креатинкиназа (КК) – фермент, находящийся в здоровых мышечных клетках, играющий важную роль в выработке энергии в течение первых нескольких секунд выполнения высокоинтенсивного упражнения. Упражнения высокой интенсивности могут повредить мышечные клетки, что приведет к попаданию КК в кровоток. По мере повышения уровня КК в крови растет риск мышечных спазмов и повреждений, что приводит к ускоренному утомлению, высокому риску травм и медленному восстановлению.

Тестостерон – это стероидный гормон, необходимый для поддержания здоровья, сексуальной функции и спортивной работоспособности. Гормон способствует росту мышечной ткани, силовых способностей, а также повышает потенциал организма использовать кислород во время выполнения упражнений. Тестостерон необходим как мужчинам, так и женщинам, и, хотя уровень тестостерона у женщин в норме весьма низкий, он является важным гормоном и для женщин.

Свободный тестостерон. Существует два показателя тестостерона: общий тестостерон, который включает в себя весь тестостерон в организме, и свободный тестостерон, который представляет собой тестостерон, циркулирующий в крови и доступный для его использования. Большая часть тестостерона в организме связана с белками S HBG и альбумином и недоступна для использования. Более высокий уровень свободного тестостерона может указывать на усиление общего метаболизма, в то время как низкий уровень свидетельствует об обратном.

Отношение тестостерон/кортизол. Соотношение двух ключевых гормонов, общего тестостерона и кортизола, демонстрирует баланс между тренировочными нагрузками и восстановлением, что необходимо для обеспечения набора мышечной массы и силы.

Кортизол – стероидный гормон, который организм вырабатывает в ответ на стресс. Уровень кортизола подвержен суточным колебаниям с пиком в утренние часы и минимумом – в ночное время. Кортизол выполняет важные функции, включая мобилизацию энергии, поддержание уровня глюкозы в крови, регулирование артериального давления, обеспечивает метаболизм жиров, белков и углеводов, отвечает за снижение чувствительности к боли и регулирование активности иммунной системы.

Глобулин, связывающий половые гормоны (ГСПГ) – белок, отвечающий за перенос половых гормонов, включая тестостерон, по всему организму. Биодоступность тестостерона в значительной степени зависит от уровня ГСПГ. Оптимальный уровень ГСПГ обеспечивает нормальное половое влечение, крепость костей, здоровье сердечно-сосудистой системы, вырабатывается, в основном, в печени.

Дегидроэтиандростерон (ДГЭА-С), является предшественником гормона, вырабатываемым в надпочечниках из холестерина. Организм использует ДГЭА-С для выработки различных стероидных половых гормонов, включая эстрадиол и тестостерон. После 20–30 лет уровень ДГЭА-С неуклонно снижается. Оптимальные уровни ДГЭА-С связаны с повышением энергообмена, улучшением состояния костей и мышц, здоровьем иммунной системы, сексуальной функцией.

Альбумин – белок, вырабатываемый печенью, обеспечивающий перенос многих жизненно важных молекул, включая тестостерон и ГСПГ. Оптимальный уровень альбумина указывает на то, что организм получает нормальное количество белка с пищей и, наряду с другими биомаркерами, информативен в отношении здоровья почек и печени.

Здоровье костей и мышц

Витамин D обеспечивает усвоение кальция костной тканью, противостояние организма инфекциям, позволяет поддерживать здоровый вес тела. Организм вырабатывает большую часть витамина D благодаря солнечному свету, кроме того, поглощает небольшое количество витамина из пищи. Низкий уровень витамина D может привести к общему снижению энергии, большему количеству стрессовых переломов костей, усилию воспалений, ослаблению мышц.

Кальций необходим для здоровья и обеспечения прочности костей, кроме того, данный минерал необходим для восстановления мышечной ткани после нагрузок, роста мышечной массы, поддержания нормального кровяного давления. При низком уровне кальция повышается риск стрессовых переломов и артериальной гипертензии.

Баланс жидкостей и электролитов

Калий помогает поддерживать минеральный баланс в организме, играет важную роль в регулировании артериального давления, ЧСС, функционирования почек, регулирования уровня кальция и использования энергии в мышечных клетках. Когда уровень калия оптимален, наблюдается повышение выносливости, растет крепость костей, нормализуется уровень холестерина и глюкозы.

Натрий содержится в каждой клетке тела, однако его особенно много в межклеточной жидкости. Натрий необходим для регулирования водного баланса как внутри, так и снаружи клеток, а также для поддержания общего минерального баланса и регулирования артериального давления. При занятиях спортом, связанных с проявлением общей выносливости или в условиях повышенных температур, во время тренировок необходимо потреблять достаточное количество натрия, выводимого из организма с потом.

Воспаление

Высокочувствительный С-реактивный белок (hsCRP) является маркером воспаления во всем организме. Когда тест показывает оптимальные

уровни hsCRP, менее 1 мг/дл, уровень воспаления в организме является очень низким. Оптимальный уровень hsCRP, по-видимому, являются информативным показателем здоровья сердца, системы кровообращения, нормального артериального давления и уровня глюкозы в крови.

Количество лейкоцитов (WBC) Лейкоциты отвечают за борьбу с инфекциями в иммунной системе. Количество лейкоцитов является индикатором воспаления – чем выше уровень лейкоцитов, тем сильнее воспалительный процесс. Информация о статусе лейкоцитов помогает контролировать общее состояние здоровья.

Типы лейкоцитов. Типы лейкоцитов, оцениваемые с помощью общего анализа крови: нейтрофилы, лимфоциты, моноциты, базофилы и эозинофилы. Указанные типы лейкоцитов играют важную роль в реагировании на такие факторы как инфекции, высокие тренировочные нагрузки, эмоциональное или физическое напряжение, а также аллергии.

Кислород и производительность

Гемоглобин – железосодержащий переносчик кислорода в эритроцитах, его основная функция – переносить кислород из легких к рабочим органам. Оптимальный уровень гемоглобина имеет решающее значение для максимальной энергии и выносливости.

Ферритин – белок, обеспечивающий депонирование железа в организме. Железо необходимо для выработки гемоглобина красных кровяных телец, кроме того, белок играет важную роль обеспечении нормального функционирования нервной и иммунной систем.

Сатурация трансферрина (TS) – показатель общего сывороточного железа, деленный на общую железосвязывающую способность, которая представляет собой максимальное количество железа, которое может переносить кровь. Сатурация трансферрина показывает, сколько железа фактически связано с белком трансферрином. Оптимальное насыщение трансферрином критически важно для поддержания баланса железа в организме.

Общая железосвязывающая способность (TIBC) измеряет максимальное количество железа, которое может нести кровь. Оптимальный TIBC важен для поддержания баланса железа в организме.

Количество красных кровяных телец (эритроцитов). Эритроциты являются наиболее распространенным типом кровяных клеток и играют решающую роль в переносе кислорода из легких в ткани. Оптимальное количество эритроцитов указывает на то, что организм получает необходимое для выполнения основных функций количество кислорода.

Сывороточное железо (S-Fe). Организму требуется железо для выполнения многих жизненно важных физиологических функций. Организм усваивает железо из пищи, поэтому важно, чтобы в рационе были представлены качественные источники железа. Лишь около 10 % потребляемого железа усваивается. Процесс абсорбции железа жестко регулируется, поскольку в организме нет биохимических способов удаления избыточного железа. У женщин железо теряется

в результате менструальных кровотечений, и кормления грудью, кроме того, железо в организме постоянно перерабатывается и используется повторно. Оптимальный уровень железа обеспечивает высокий общий метаболизм, мышечную силу, когнитивные функции, устойчивость иммунной системы.

Маркеры красных кровяных телец (CBC). Маркеры эритроцитов, измеряемые посредством общего анализа крови: гематокрит, MCH, MCHC, MCV, RDW, MPV, количество тромбоцитов. Эти маркеры могут дать представление о способности организма обеспечивать оптимальную кислородную емкость и его транспортировку, поддерживать уровень железа, физическую и когнитивную работоспособность.

Психофизические функции

Магний играет роль в обеспечении работы мышц, функционировании нервной системы, регуляции артериального давления, сна, иммунитета, а также поддержании нормального уровня сахара в крови. Оптимальный уровень магния повышает мышечную силу и отдаляет время наступления мышечной усталости во время относительно непродолжительных тренировок высокой интенсивности.

Магний RBC измеряет количество магния в эритроцитах. По сравнению с обычным методом измерения магния в сыворотке крови, метод является более чувствительным показателем магния в организме, поскольку снижение уровня магния в сыворотке крови организм компенсирует за счет использования магния красных кровяных телец до восполнения потерь. В результате уровень магния в сыворотке крови будет отображаться как «нормальный», даже если уровень магния в костях и тканях снижается. Таким образом, магний RBC является важным и более динамичным индикатором общего статуса магния в организме.

Витамин B₁₂ играет роль в производстве красных кровяных телец, а также в обеспечении функционирования мозга и нервной системы. При сниженном уровне витамина B₁₂, может развиться анемия, а также проблемы с памятью. С возрастом организм менее эффективно усваивает естественный витамин B₁₂.

Фолиевая кислота – водорастворимый витамин, необходимый для синтеза красных кровяных телец, а также ДНК и РНК. Витамин также помогает предотвратить врожденные дефекты головного и спинного мозга. Недостаток фолиевой кислоты может быть одной из причин анемии.

Здоровье печени

Второй по величине орган тела человека – печень фильтрует вредные соединения из кровотока, удаляет жир, алкоголь и иные токсины. Кроме того, печень контролирует уровень гормонов и сахара в крови, накапливает энергию из пищи, вырабатывает белки, ферменты и желчь.

Аланинаминотрансфераза (АЛТ) – фермент, который в основном находится в печени и обеспечивает протекание химических реакций в организме.

Он играет роль в преобразовании гликогена в энергию. При поражении или заболевании печени АЛТ попадает в кровоток. Таким образом, большое количество АЛТ в крови обычно указывают на повреждение печени или мышц.

Аспартатаминотрансфераза (AST) – фермент, который в основном обнаруживается в печени, а также в сердце и мышцах, почках мозге и красных кровяных тельцах. AST помогает метаболизировать аминокислоты. Хотя небольшое количество AST обычно содержится в крови, интенсивные упражнения и повреждение печени могут вызвать повышение уровня AST. Оптимальный уровень АСТ обеспечивает высокий энергетический потенциал, более эффективное усвоение пищи и быстрое восстановление.

Гамма-глутамилтранспептидаза (GGT) – фермент, который концентрируется в печени, а также содержится в желчных протоках, поджелудочной железе, селезенке и почках. GGT помогает переносить аминокислоты через клеточную мембрану и играет важную роль в метаболизме токсинов в печени. Повышенный уровень GGT с высокой вероятностью указывает на повреждение печени, в гораздо большей степени, нежели АЛТ и АСТ, что позволяет рассматривать его как более информативный биомаркер, определяющий здоровье печени.

Поученные данные биомаркеров сопоставляются с данными ДНК клиента, при этом динамичные, меняющиеся во времени и в зависимости от различных факторов: воздействия окружающей среды, диетических предпочтений, состояния сна и стресса в сочетании с жестко запрограммированной ДНК могут дать высокоуровневую картину генетического потенциала организма. Именно взятые вместе кровь и ДНК могут помочь в формировании персонализированных рекомендаций, создаваемых платформой InsideTracker, для обеспечения максимальной точности и эффективности.

Однако не только кровь и ДНК используются в качестве входящих параметров InsideTracker. Модель учитывает физиологические показатели, такие как рост, вес, возраст, пол и этническая принадлежность. Эти факторы имеют решающее значение как по отдельности, так и в сочетании, поскольку также влияют на точность рекомендаций.

Дополнительным фактором, заложенным в математическую модель, являются привычки. То, какой образ жизни ведет человек в решительной степени оказывает влияние на состояние организма: сон, стресс, диетические предпочтения, аллергии, фитнес-привычки, медитация, режимы приема добавок – все это принимается во внимание InsideTracker при генерации персонализированных рекомендаций.

Возможности системы были значительно расширены с помощью мобильного приложения InsideTracker и фитнес-трекеров, таких как Fitbit или Garmin. Данные мобильных устройств интегрируются с показателями биомаркеров крови и ДНК. По утверждению разработчиков, беспрецедентная комбинация данных кровь + ДНК + фитнес-трекинг значительно повышает точность и индивидуальность разработанных планов InsideTracker.

Обработка полученных данных осуществляется с помощью разработанного учеными-биоинформатиками и специалистами в ИТ программного продукта

SegterraR. Используя сложные компьютерные модели, SegterraR добывает огромные объемы биометрических и научных данных, подготавливая их для использования автоматизированным алгоритмическим движком SegterraX.

SegterraX – запатентованный автоматизированный алгоритмический программный продукт, работающий на платформе InsideTracker, генерирует персонализированные рекомендации для каждого человека путем интеграции полного диапазона пользовательских данных (биохимия, демография, профиль, привычки, генетика) с правилами, разработанными учеными на основе анализа ими более 2500 научных публикаций, прошедших рецензирование, демографической базы данных более 180 000 здоровых людей, базы данных, содержащей более 8000 уникальных продуктов питания.

Высокая степень научности данных системы InsideTracker подтверждается публикациями в научных изданиях самого высокого уровня. В частности, в 2018 году коллективом разработчиков InsideTracker была опубликована научная статья в журнале Nature, посвященная лонгитюдному исследованию данных биомаркеров с использованием данной персонализированной платформы [3].

Таким образом, использование подобных научно-технологических решений может быть рекомендовано для использования в спортивной практике.

Источники

1. About Insidetracker – Mode of access: <https://www.insidetracker.com/about/> – Date of access: 19.10.2021.
2. Best Life Extension Blood Tests and Companies in 2021 – Mode of access: <https://www.longevityadvice.com/blood-tests>. – Date of access: 19.10.2021.
3. Longitudinal analysis of biomarker data from a personalized nutrition platform in healthy subjects / K. Westerman [et al.] // Nature. – 2018. – Mode of access: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-33008-7.pdf>. – Date of access: 19.10.2021.

Влияние степени сгибания в коленном суставе на результативность теннисной подачи у теннисистов среднего уровня подготовленности

The effects of knee flexion on tennis serve performance of intermediate level tennis players [Electronic resource] / J. F. Hornestam [et al.] // Sensors. – 2021. – Mode of Access: <https://www.proquest.com/openview/86df14b89c3b9a99ef8a87ac0163d6a0/1.pdf?pq-origsite=gscholar&cbl=2032333>. – Date of Access 15.10.2021.

Перевод: **Л. И. Кипчакбаева**, ведущий специалист информационно-аналитического отдела.

Научная редакция: **М. Е Агафонова**, начальник информационно-аналитического отдела БГУФК, доцент кафедры спортивной медицины БГУФК, кандидат биологических наук

Аннотация

Данное исследование направлено на изучение влияния степени сгибания колена в фазе подготовки на результативность подачи в теннисе с применением инерционных датчиков. Тридцать два теннисиста-юниора были поделены на две группы по показателю максимального сгибания в коленном суставе на этапе подготовки к выполнению подачи: с меньшим показателем (SKF) и большим показателем (GKF) сгибания в коленном суставе. Во время выполнения подачи сравнивались скорость ракетки, высота ракетки и скорость разгибания колена. Инерционные датчики отслеживали движения голени и бедра участников, а также движения ракетки при выполнении первых пяти плоских и эффективных подач. Сгибание в коленном суставе анализировали в фазе подготовки к выполнению подачи, скорость разгибания колена после завершения этой фазы, скорость ракетки – непосредственно перед ударом по мячу и высоту ракетки – во время удара. Скорость ракетки перед ударом (средняя разность $[MD]=3,33$ км/ч, $p=0,004$) и скорость разгибания колена ($MD = 130.30^{\circ}/s$, $p = 0,012$) были выше в GKF, чем SKF; однако различия между группами в высоте ракетки в момент удара отсутствовали ($p=0,236$). Результаты исследования подтверждают важность большей степени сгибания колена в фазе подготовки к выполнению серии подач. Это движение следует рассматривать как фактор, способствующий повышению скорости ракетки.

1. Введение

Подача – один из самых частых и важных ударов в теннисном матче [1]. Скорость подачи является наиболее используемым параметром для оценки результативности теннисной подачи [2–5]. Более быстрая подача сокращает время реакции соперника и может помешать ему произвести ответный удар. Другим параметром, используемым для оценки результативности теннисной подачи, является высота удара ракеткой [6–8]. Удар по мячу с более высокой позиции может улучшить обзор целевой зоны и увеличить доступное целевое окно, повышая шансы на выполнение более быстрой и эффективной подачи

[2, 9]. Угловое движение верхней конечности хорошо известно, как основной фактор скорости подачи [10, 11]. Однако влияние углового движения нижней конечности все еще вызывает споры и ограничивается данными взрослых теннисистов [5–7, 12]. Необходимы дополнительные исследования для изучения влияния движения нижних конечностей на результативность подачи, особенно у молодых теннисистов.

Существуют отдельные примеры того, что нижние конечности являются основой кинетической цепи теннисной подачи. Таким образом, движение нижней конечности играет важную роль для начала выработки энергии и передачи ее на туловище, верхнюю конечность, а затем на ракетку [13]. Большой угол сгибания колена во время фазы подготовки к выполнению подачи позволяет достичь большей скорости разгибания колена (поскольку ускорение придается в течение более длительного периода), способствуя более эффективному приведению нижней конечности в результате придания телу большей механической энергии. Однако исследования, в которых изучалось влияние степени сгибания коленного сустава на результативность подачи, показали противоречивые результаты [5, 6]. Sgro et al. [6] обнаружили у опытных теннисистов большую степень сгибания колена во время фазы подготовки, большую скорость подачи и большую высоту удара ракетки, чем у начинающих спортсменов. Более того, они обнаружили положительную связь максимального сгибания колена со скоростью подачи и высотой удара ракетки. И наоборот, Elliott et al. [5] не нашли различий в скорости подачи при сравнении теннисистов с различной кинематикой нижних конечностей (большой и меньшей степени сгибания колена) во время теннисной подачи.

Кроме того, исследования, изучавшие меньшую степень сгибания коленного сустава непосредственно перед выполнением подачи, показали его негативное влияние на результативность подачи [7, 12]. Искусственное ограничение максимального сгибания колена при угле в 10° с помощью ортеза [7] или обращение к игрокам с просьбой намеренно уменьшить сгибание колена [12] приводило к снижению скорости подачи и высоты удара. Однако на эти результаты значительное влияние могло оказывать неестественное движение при выполнении подачи вследствие осознанного снижения степени сгибания колена непосредственно перед подачей. Поэтому по-прежнему требуется изучение влияния степени сгибания колена на результативность теннисной подачи. Несколько нам известно, ни одно исследование не сравнивало показатели подачи у теннисистов-юниоров с различным уровнем сгибания колена в естественных условиях выполнения подачи. Инерционные измерительные системы (IMS) широко используются при анализе спортивных движений [14–20]. Поскольку они обеспечивают трехмерное (3D) отслеживание движения в специфических для спорта условиях (в полевых условиях), они могут показать более реалистичные результаты, чем оптико-электронные системы, которые требуют лабораторных настроек. Таким образом, оценка теннисных ударов непосредственно на теннисном корте с помощью IMS была бы интересна для сохранения особенностей естественного движения в данном виде спорта. Ни

одно из предыдущих исследований не изучало влияние движения нижних конечностей во время подачи на ее результативность с использованием инерционной измерительной системы (IMS).

Поэтому данное исследование направлено на изучение на корте влияния приведения нижних конечностей на результативность теннисной подачи у юниоров среднего уровня подготовленности с использованием носимых инерционных датчиков. В частности, мы исследовали влияние степени сгибания колена на скорость ракетки до удара и высоту ракетки в момент удара по мячу при выполнении подачи в более подходящих условиях. Как только этот эффект был подтвержден, исследование было направлено на изучение влияния на скорость разгибания коленного сустава как показатель эффективности приведения нижних конечностей во время подачи. Было выдвинуто предположение, что теннисисты-юниоры равных уровней подготовленности, но с большей степенью сгибания колена при выполнении подачи, будут демонстрировать большую скорость разгибания колена, большую скорость ракетки и большую высоту удара, чем игроки с меньшей степенью сгибания колена.

2. Материалы и методы

2.1. Участники. Размер выборки рассчитывался с помощью программного обеспечения G*Power на основе пилотного исследования с участием 10 спортсменов, с учетом различий в средней результирующей скорости ракетки до удара в двух группах с различными максимальными показателями сгибания колена во время теннисной подачи. Этот расчет показал минимальный общий размер выборки из 18 участников, учитывая мощность 90 % и альфа 0,05. Тридцать два теннисиста-юниора среднего уровня подготовленности в возрасте от 13 до 17 лет согласились принять участие в данном исследовании. Уровень игры определялся на основании Международного теннисного номера (ITN) спортсменов, который характеризует игроков среднего уровня подготовки, классифицируя их от 5 до 7, по шкале 1–10 [21]. Включив только теннисистов среднего уровня, мы ограничили влияние уровня подготовленности в теннисе на результативность подачи. Действительно, игроки разного уровня могли показывать различные результаты независимо от степени сгибания колена во время подачи [6]. Участники и их законные представители подписали форму информированного согласия. Все игроки были обследованы, ни один из них не был травмирован в течение предыдущих шести месяцев, не подвергался ортопедической операции и не имел ограничений относительно диапазона пассивного движения в коленном суставе [22]. Участники были погрупнно разделены на две группы на основе средних показателей максимального сгибания коленного сустава (МКФ), продемонстрированных спортсменами во время фазы подготовки к выполнению подачи: группа с большей степенью сгибания колена (GKF, n=16) и группа с меньшей степенью сгибания колена (SKF, n=16). Из-за отсутствия четкого определения в литературе высоких и низких значений сгибания колена во время подачи, этот метод деления на группы использовался для обеспечения гарантии того, что две группы имели различные значения сгибания колена.

2.2. Процедура исследования. Был проведен опрос добровольцев для оценки их пригодности для участия в исследовании, а затем проведены измерения роста, веса и амплитуды пассивных движений (passive range of motion (ROM)) коленного сустава (АПД). Все оценки выполнялись одним и тем же исследователем. Участников попросили провести разминку в течение 15 минут, которую они обычно делают перед теннисной тренировкой, или до тех пор, пока не почувствуют готовность к выполнению движения. Чтобы проверить гипотезу исследования, оценивались движения ракетки и колена. Для их отслеживания использовались беспроводные инерционные датчики (называемые MTw) системы MVN Awinda System (Xsens Technologies B.V., Enschede, Нидерланды).

Один датчик был установлен на ракетке прямо над местом захвата (рисунок 1A), а два других – на голени и бедре в соответствии с рекомендациями производителя [23]. Если коротко, чтобы отследить движение колена (то есть голени относительно бедра), один датчик был размещен в медиальной части голени (pes anserinus), а другой – посередине боковой части бедра (рисунок 1B). Инерционные датчики также были размещены на других сегментах тела (стопа, таз, туловище, плечо, предплечье и кисть) только для того, чтобы система могла быть откалибрована и работать с полной кинематической моделью тела. Данные с этих датчиков не анализировались. Для удержания датчиков на месте использовались лямки с застежкой-липучкой. Каждый инерционный датчик (16 г) объединял 3D акселерометры (диапазон $\pm 160 \text{ m/s}^2$), 3D гироскопы (диапазон $\pm 2000^\circ/\text{s}$) и 3D магнитометры. Данные отбирались на частоте 1000 Гц, а система MVN обновляла данные беспроводным способом на частоте 60 Гц, максимально допустимой для данного устройства. Достоверность показаний системы Xsens MVN для измерения углов нижних конечностей ранее была протестирована путем сравнения с данными оптико-электронной системы захвата движения (MCS) и было обнаружено превосходное сходство показаний [24, 25]. Blair et al. [24] сообщили о незначительных средних различиях (диапазон 0,2–0,3 %), касающихся сгибания колена при выполнении удара в футболе.

Аналогичным образом Al-Amri et al. [25] обнаружили исключительное сходство между системами для разгибания – сгибания колена во время ходьбы, приседаний и прыжков (множественный коэффициент корреляции и $R^2 > 0,9$). Keaney & Reid [26] изучали достоверность показаний инерционного датчика ракетки для измерения скорости теннисной подачи по сравнению с оптико-электронной системой захвата движения (MCS) и обнаружили почти идеальное совпадение показаний двух систем ($ICC = 0,983$). Для осуществления сравнительного анализа биомеханической модели высота голеностопа, колена и бедра относительно земли измерялась одним и тем же исследователем, при этом, следуя рекомендациям производителей [23], участники находились в положении стоя.

Программное обеспечение MVN Analyze использовалось для сбора и экспорта кинематических данных, которые позже были проанализированы с помощью программного обеспечения Visual3D (C-Motion Inc., Джермантаун, США) и Matlab (The Mathworks, Натик, Массачусетс, США). Система была откалибрована в соответствии с процедурой N-pose plus walk (положение стоя руки вдоль туловища плюс ходьба), рекомендованной производителем [23].

Праворукие участники выполняли подачу с двойки (то есть с правой стороны корта, deuce courtside), направляя подачу на целевую зону, граничащую с «Т» зоной (середина) подачи (рисунок 2), в течение 5 минут или до тех пор, пока они не почувствуют себя комфортно, чтобы ознакомиться с оборудованием. Леворукие игроки выполняли подачу с левой стороны корта, нацеливаясь на область, граничащую с «Т» зоной кросс-кортовой подачи [27]. Целевую площадь определяли с использованием мини-дисковых конусов. Наконец, участникам было предложено выполнить только первую подачу (то есть первую попытку из двух) и плоскую подачу (т. е. без вращения мяча) в целевую область. Для анализа засчитывались пять успешных подач. Один наблюдатель находился рядом с целевой зоной, чтобы подтвердить правильность подачи (приземление мяча в целевой зоне). Игроки использовали ракетки одинаковых размеров и веса. Подачи игроков снимались видеокамерой (Xsens Technologies B.V., г. Энсхеде, Нидерланды), расположенной на базовой линии на штативе и работающей со скоростью 60 кадров в секунду (максимальная возможная частота кадров). Эти изображения использовались только для подтверждения момента удара ракеткой по мячу.



Рисунок 1 – Расположение датчиков. Черные стрелки указывают расположение датчиков на: (А) ракетке; (Б) голенях и бедрах. В данном исследовании были проанализированы движения только одной нижней конечности (ведущей ноги).

2.3. Обработка и преобразование данных. Глобальные и локальные системы координат (X, Y, Z) были определены в программном обеспечении MVN Analyze с учетом ориентации теннисного корта: X-ось была определена как передне-задняя, Y-ось – как медиально-боковая, а Z-ось – как вертикальная (рисунок 2). Файлы MVNX, содержащие биомеханическую модель и файлы движения, были экспортированы из этого программного обеспечения и импортированы для анализа в программное обеспечение Visual3D. Используя встроенные функции конвейеров Visual3D, рассчитывали передний (т. е. ведущий)

угол сгибаия колена по положению и ориентации голени относительно бедра вокруг оси Y, используя карданную последовательность Y-X-Z, т. е. сгибание, отведение, вращение [28]. Аналогично рассчитывалась скорость разгибания переднего колена. Переднее колено соответствовало левому колену праворуких игроков и правому колену леворуких игроков.

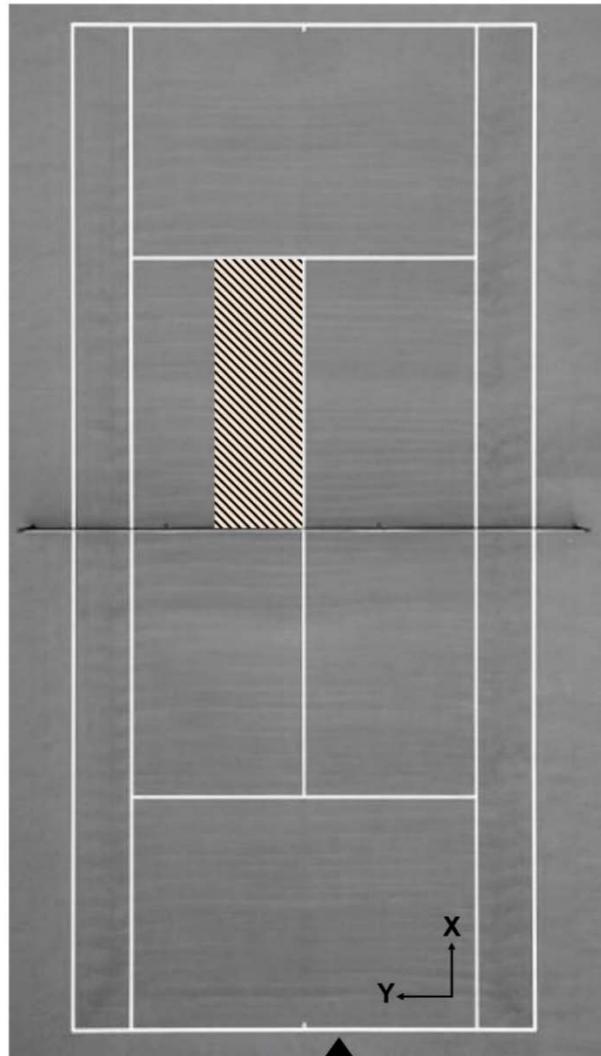


Рисунок 2 – Вид теннисного корта. Черный треугольник примерно соответствует первоначальному месту расположения праворуких игроков для выполнения подачи, а заштрихованная часть является целевой зоной. Черные стрелки обозначают оси X и Y в системах координат

Фаза подготовки к выполнению подачи определялась на Visual3D от максимального переднего положения ракетки до максимального сгибания колена [27]. Удар ракеткой по мячу (racket-ball impact) обозначали как самую высокую линейную скорость ракетки в переднем направлении [29]. Максимальная скорость разгибания колена рассчитывалась в период между максимальным разгибанием колена при выполнении подачи и ударом ракеткой по мячу. Эти два действия, сопровождающих подачу, также визуально отслеживались и подтверждались Visual3D и видеозаписями. Результирующая скорость до удара ракетки рассчитывалась в Matlab как норма линейной скорости ракетки в трех плоскостях движения непосредственно перед ударом ракеткой по мячу [11, 30, 31]. Высота удара ракеткой (т. е. вертикальное расстояние ракетки до земли)

также была получена и выражена в процентах от роста участника в положении стоя (нормализованная высота ракетки). Для анализа брали средние показатели из пяти эффективных попыток теннисной подачи каждого участника.

2.4. Надежность. Было проведено пилотное исследование с десятью участниками для изучения надежности методов измерений и процедуры исследования. Данные были собраны во время двух различных сессий, проведенных с интервалом в одну неделю. Надежность (повторного) тестирования (ICC2,5) для максимального сгибания коленного сустава во время фазы подготовки к выполнению подачи, максимальной скорости разгибания коленного сустава, результирующей скорости ракетки до удара и высоты ракетки в момент удара составила 0,93, 0,94, 0,89 и 0,88 соответственно.

2.5. Статистический анализ. Описательная статистика использовалась для характеристики участников. Нормальность (соответствие нормальному закону распределения) проверялась с использованием теста Шапиро – Вилка. Хи-квадрат-тест использовался для сравнения групп по уровню игры (International Tennis Number, ITN) и полу. Независимая выборка t-тестов использовались для сравнения групп по показателям максимальной скорости разгибания колена, скорости ракетки до удара и нормализованной высоты ракетки при ударе. Были рассчитаны средние различия (MD) между группами и размерами d эффектов Коэна (ES) [32]. Все анализы выполнены с помощью программного обеспечения SPSS (IBM Corp., Armonk, NY, USA) с уровнем значимости $\alpha=0,05$.

3. Результаты

3.1. Участники. В группе SKF (меньшая степень разгибания колена) было тринадцать праворуких и три леворуких, а в группе GKF (большая степень разгибания колена) – четырнадцать праворуких и два леворукых участника. Не было обнаружено различий между группами SKF и GKF для описательных переменных за исключением показателей максимального сгибания коленного сустава, которое использовалось при делении на группы. Было установлено, что этот показатель на 19.08° больше в группе GKF (таблица 1). Результаты теста также хи-квадрат не показали различий между группами относительно показателей уровня игры (ITN) ($p=0,494$) и пола ($p=0,194$).

Таблица 1 – Описательные данные участников

Описательные данные	SKF (n=16)	GKF (n=16)	Значение p
Рост тела (м) ^a $1,66 \pm 0,08$ $1,67 \pm 0,06$ 0,942	$1,66 \pm 0,08$	$1,67 \pm 0,06$	0,942
Масса тела (кг) ^a	$54,75 \pm 6,25$	$56,08 \pm 6,69$	0,567
Возраст (лет) ^b	$13,81 \pm 1,05$	$14,25 \pm 1,24$	0,305
Опыт игры в теннис (лет) ^a	$6,50 \pm 2,42$	$7,00 \pm 2,10$	0,537
Еженедельные тренировки по теннису (час) ^b	$8,75 \pm 1,44$	$9,25 \pm 1,24$	0,361
Еженедельные тренировки по кондиционированию (час) ^b $4,63 \pm 0,62$ 0,361	$4,38 \pm 0,72$	$4,63 \pm 0,62$	0,361
Максимальное разгибание колена при подаче ($^\circ$) ^a	$55,64 \pm 8,66$	$74,72 \pm 5,88$	<0,001*

Результаты представлены как среднее и стандартное отклонение. * – $p<0,001$.

SKF – группа с меньшей степенью сгибаия колена. GKF – группа с большей степенью сгибания колена.

^a – Нормальное распределение переменных. Значения p независимых проб t-теста приведены выше.

^b – Отсутствует нормальное распределение переменных. Значения p теста Манна – Уитни приведены выше.

3.2. Эффективность теннисной подачи и скорость разгибания коленного сустава. Скорость ракетки до удара была на 3,33 км/ч выше, а максимальная скорость разгибания колена была на 130,30°/с выше в GKF, чем в SKF. Не было статистической разницы между группами относительно нормализованной высоты ракетки во время удара (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительная таблица эффективности теннисной подачи и скорости разгибания колена

Выполнение теннисной подачи	Описательные данные	SKF (n=16)	GKF (n=16)	p	ES
Результатирующая скорость ракетки (км/ч)	Mean±SD CI _{95%}	21.12±3.76 19.12–23.13	24.45±1.73 23.52–25.37	0.004*	1,138 (большая)
Нормализованная высота ракетки во время удара (%)	Mean±SD CI _{95%}	122.63±5.30 119.80–125.45	124.49±3.16 122.81–125.17	0.236	0,426
Максимальная скорость разгибания колена (°/сек)	Mean±SD CI _{95%}	405.11±160.45 319.61–490.61	535.41±110.74 476.40–594.42	0.012*	0.945 (большая)

SKF – группа с меньшей степенью сгибаия колена. GKF – группа с большей степенью сгибаия колена. p – значения p . Размер d эффекта Коэна. SD – стандартное отклонение. CI_{95%} – 95 % доверительный интервал. * – $p < 0,05$.

Обсуждение

Данное исследование было направлено на изучение влияния степени сгибаия коленного сустава в фазе подготовки к выполнению подачи на скорость разгибания коленного сустава и эффективность теннисной подачи у игроков-юниоров. Чтобы повысить экологическую валидность (достоверность) результатов, исследование проводилось на теннисном корте с использованием беспроводных инерционных датчиков. Мы обнаружили, что теннисисты с большей степенью сгибаия колена в фазе подготовки к выполнению подачи имели на 32 % более высокую скорость разгибания колена и на 16 % более высокую скорость ракетки до удара, чем игроки с меньшей степенью сгибаия колена. Большая угловая скорость колена, установленная в данном исследовании, возможно, способствовала большей скорости ракетки. Тем не менее, нормированная высота ракетки во время удара существенно не отличалась между группами. Данные результаты указывают на то, что теннисным тренерам и игрокам необходимо принимать во внимание величину сгибаия колена при планировании тренировок, направленных на повышение эффективности подачи.

Большую скорость ракетки перед ударом по мячу, обнаруженную у участников с большей степенью сгибания колена, можно объяснить увеличением скорости разгибания колена и, возможно, выработкой и переносом механической энергии по всей кинетической цепи. Увеличение степени сгибания коленного сустава в фазе подготовки к выполнению подачи, как правило, приводит к увеличению степени разгибания коленного сустава в фазе приведения нижней конечности (движение вперед) при выполнении подачи [12]. Смещение в направлении большей амплитуды движения сустава, по-видимому, связано с большей скоростью работы сустава. Аналогично результатам данного исследования, Anderson & Sidaway [33], которые анализировали удар в футболе, также обнаружили, что игроки, которые больше сгибают колено во время фазы подготовки, демонстрировали большую максимальную скорость разгибания колена в фазе ускорения. Эта связь между углом сгибания колена и скоростью разгибания можно объяснить тем фактом, что больший диапазон движения в суставе предоставляет больше времени для приложения ускорения и повышения скорости движения сустава. В дополнение к этому другое возможное объяснение основывается на функции цикла растяжения – сокращения (stretch shortening cycle, SSC), когда колено сгибается во время фазы подготовки к подаче, четырехглавые мышцы сокращаются эксцентрично [8], что может привести к накоплению эластической тяги мышцы [34, 35]. Эта энергия может быть использована, по меньшей мере частично, для увеличения скорости разгибания коленного сустава во время подачи. Из-за зависимости между скоростью движения сустава и кинетической энергией ожидается, что увеличенная скорость разгибания коленного сустава во время подачи увеличивает энергию, вырабатываемую нижними конечностями, которая передается по кинетической цепи на туловище, верхнюю конечность и, наконец, на ракетку. Этот механизм в конечном итоге должен повысить скорость подачи [36, 37]. Скорость ракетки до удара в значительной степени коррелирует со скоростью мяча после удара [10]. Таким образом, скорость ракетки до удара по мячу, как правило, является показателем эффективности подачи [7, 30, 31].

Наши результаты подтверждают данные Sgro et al. [6], которые установили, что игроки с большей степенью сгибания колена демонстрировали более быстрые подачи. Они делили на группы на основании уровня игры участников, при этом группа с большей степенью сгибания колена и более быстрой подачей состояла из продвинутых теннисистов, которых сравнивали с игроками более низкого уровня. Поэтому на их результаты влиял уровень подготовки игрока, в то время как участники нашего исследования находились на одном (промежуточном) уровне без статистической разницы между группами. Кроме того, в настоящем исследовании отсутствовали различия между группами относительно других переменных, которые могут влиять на выполнение подачи, таких как рост и масса тела, возраст, продолжительность занятий теннисом и объем тренировок в неделю, которые учитывались в предыдущих исследованиях [3, 38–40].

В отличие от наших результатов Elliott et al. [5] не обнаружили различий в скорости подачи у профессиональных игроков в зависимости от величины

сгибания колена. Однако они указывали на угол сгибания колена при максимальном внешнем вращении плеча (т. е. после фазы подготовки), когда колено уже, как правило, разгибается [36]. Поскольку большая степень сгибания колена при максимальном внешнем вращении плеча может быть обусловлена большим сгибанием колена во время фазы подготовки [5], логично предположить и прямо противоположный эффект. Теоретически игроки с меньшей степенью сгибания колена при максимальном внешнем вращении плеча могут в большей степени сгибать колено в фазе подготовки к выполнению подачи и демонстрировать более эффективное приведение нижней конечности. Поэтому изучение процесса сгибания колена в подготовительной фазе больше подходит для оценки роли степени сгибания коленного сустава при выполнении подачи.

В отличие от наших предположений, нормализованная (стандартная) высота удара ракетки по мячу не отличалась у игроков с разной степенью сгибания колена. Хотя игроки с большей степенью сгибания колена демонстрировали более эффективное приведение нижней конечности и, следовательно, потенциально имели возможность достижения большей высоты, их высота удара ракетки не была больше, как мы и ожидали. Наш результат согласуется с данными Girard et al. [8], которые не обнаружили связи между вертикальной силой опорной реакции грунта и высотой удара ракетки во время подачи теннисистов среднего уровня. Хотя эти авторы не измеряли степень сгибания коленного сустава, вертикальная сила опорной реакции грунта, как ожидается, будет увеличиваться по мере увеличения сгибания коленного сустава во время фазы подготовки к выполнению подачи [7]. Возможное объяснение этих результатов связано с зависимостью высоты удара ракетки от других факторов, таких как высота подброса мяча и подвижность плеча, которые не измерялись. Поскольку высота ракетки при ударе зависит от расположения мяча, то при низкой высоте подброса мяча игрок не будет ударять ракеткой по мячу в более высоких локациях. Аналогично, дефицит подвижности плеча может ограничить способность игрока при выполнении подачи бить по мячу выше.

Максимальные значения сгибания коленного сустава, установленные в настоящем исследовании с использованием инерциальной системы измерения, находились в пределах, продемонстрированных другими исследованиями, в которых применялся оптоэлектронный анализ движения [12, 27] или видеографические системы [6]. Однако результирующая скорость ракетки до удара была ниже, чем в других исследованиях [30, 31]. Эту разницу можно объяснить различиями в уровне игры спортсмена и используемых методов. Gillet et al. [30] и Rogowski et al. [31] проводили исследования с участием продвинутых теннисистов (ITN2-4), тогда как участники нашего исследования были среднего уровня. Известно, что уровень игры влияет на скорость подачи. Более высокий уровень игры предполагает большую скорость подачи [6, 39]. Разную скорость ракетки также можно объяснить различными способами измерения. Gillet et al. [30] и Rogowski et al. [31] сообщали о скорости в центре поверхности головки ракетки. В отличие от этого, в нашем исследовании инерционный датчик для отслеживания скорости ракетки был размещен в верхней части хвата (рисунок 1). Mitchell et al. [29] обнаружили различия до 70 % при сравнении скорости ракетки,

измеренной в центре поверхности головки ракетки и вокруг средней части хвата. Наши результаты согласуются с литературными данными, учитывая расположение датчика отслеживания скорости ракетки.

Метод, используемый в настоящем исследовании, имеет некоторые ограничения, которые следует обсудить. Скорость беспроводного обновления инерциальной системы может считаться низкой (60 Гц), будучи максимальной частотой прибора. Однако каждый инерционный датчик производил внутреннюю выборку данных на высокой частоте (1000 Гц), что помогало получать точные данные во время динамического движения. Другим ограничением был тот факт, что данное исследование не изучало влияние большей степени сгибания колена в фазе подготовки к выполнению подачи на движения туловища и суставов доминантной верхней конечности. Поскольку эти совместные движения также могут быть связаны с эффективностью подачи, необходимы дополнительные исследования для изучения влияния их взаимодействия. Кроме того, не контролировалась нервно-мышечно-скелетная зрелость (например, скорость роста) исследуемых подростков, которая влияет на их физические возможности и координацию. Тем не менее, все участники были действующими спортсменами с приблизительно семилетним опытом занятий теннисом, и поэтому их высокий уровень мастерства, возможно, помог преодолеть влияние физиологических изменений (не подвергшихся измерению) на их показатели.

Насколько нам известно, это первое исследование, посвященное влиянию движения нижних конечностей на результативность подачи на теннисном корте (спортивно-специфическая инфраструктура) с использованием инерциальной системы измерения. Этот подход показывает, что применение подобных датчиков обеспечивает более реальный анализ по сравнению с лабораторными условиями. Спортивные ученые и практики могут с уверенностью применять данный метод и учитывать полученные результаты. Тем не менее, необходимы дальнейшие исследования для изучения влияния специфических методов повышения степени сгибания коленного сустава в фазе подготовки к выполнению подачи на его результативность.

3. Заключение

Скорость ракетки до удара по мячу при выполнении подачи у теннисистов-юниоров среднего уровня с большей степенью сгибания колена в фазе подготовки к выполнению подачи была выше, чем у теннисистов с меньшей степенью сгибания колена. Кроме того, в этой группе была обнаружена более высокая скорость разгибания коленного сустава, что свидетельствует о более эффективном приведении нижних конечностей во время подачи. Однако высота ракетки во время удара не отличалась между группами. Величину сгибания коленного сустава следует рассматривать как положительный фактор, влияющий на скорость ракетки до удара по мячу.