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 ТЕХНОЛОГИИ
В ПОДГОТОВКЕ СПОРТИВНОГО РЕЗЕРВА
И СПОРТСМЕНОВ ВЫСОКОГО КЛАССА»

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕСТИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СПОСОБНОСТЕЙ СПОРТСМЕНОВ

Мастер-класс
Информационно-аналитические материалы
09.12.2022

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Оценка психофизического состояния спортсмена при помощи метода газоразрядной визуализации биоэлектрографии *4*

Агафонова Маргарита Евгеньевна,
начальник информационно-аналитического отдела БГУФК,
доцент кафедры спортивной медицины БГУФК, кандидат биологических наук

Общие рекомендации по контролю физической подготовленности в таэквондо *9*

Харькова Виктория Александровна,
заведующий кафедрой боевых единоборств и специальной подготовки,
ведущий специалист Центра координации научно-методической
и инновационной деятельности, кандидат педагогических наук, доцент

Сравнительный анализ современных систем отслеживания и анализа движений спортсменов *16*

Разуванов Владимир Михайлович,
ведущий специалист информационно-аналитического отдела,
старший преподаватель кафедры менеджмента туризма и гостеприимства БГУФК

Диагностика двигательных способностей человека при помощи экзоскелета *26*

Дарануца Кристина Сергеевна,
ведущий специалист Центра координации научно-методической
и инновационной деятельности

Метод электромиографии в практике тестирования физических способностей спортсменов в циклических видах спорта *31*

Шешко Валентина Владимировна,
ведущий специалист информационно-аналитического отдела
Центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Анализ зарубежной публикации
Технологии интернета вещей и носимые устройства для оценки уровня подготовленности спортсменов: систематический обзор *36*

Wearables and Internet of Things (IoT) Technologies for Fitness Assessment: A Systematic Review / João Passos [et al.] // Sensors. – 2021. – № 21 (5418). – 18 p.
Перевод: Л.И. Кипчакбаева, ведущий специалист информационно-аналитического отдела БГУФК.
Научная редакция: М.Е. Агафонова, начальник информационно-аналитического отдела БГУФК, доцент кафедры спортивной медицины БГУФК, кандидат биологических наук, доцент.

ОЦЕНКА ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СПОРТСМЕНА ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ

Агафонова Маргарита Евгеньевна, начальник информационно-аналитического отдела БГУФК, доцент кафедры спортивной медицины БГУФК, кандидат биологических наук

В настоящее время на мировой спортивной арене отмечаются значительный рост спортивных достижений и высокая конкуренция в олимпийских видах спорта, что определяет необходимость поиска путей интенсификации процесса спортивного совершенствования для повышения результативности соревновательной деятельности. Поэтому так актуально выяснение физиологических особенностей влияния тренировочных нагрузок и соревновательной деятельности в различных видах спорта на организм спортсменов и определение информативных показателей психофизического состояния, при помощи которых можно оценивать функциональный статус спортсменов и эффективно решать задачи спортивной подготовки (повышение работоспособности, индивидуализация тренировочного процесса и программы восстановления, профилактика травматизма).

Для выполнения экспресс-оценки психофизического состояния спортсменов в условиях учебно-тренировочных занятий может применяться метод газоразрядной визуализации (метод ГРВ), при помощи которого на основании анализа «газоразрядного изображения» (ГРИ) и ГРВ-граммы можно оперативно оценивать психофизическое состояние спортсменов.

Сущность метода газоразрядной визуализации биоэлектрографии состоит в следующем: объект предварительно помещается в переменное электрическое поле высокой частоты, при котором возникает разность потенциалов между электродом и исследуемым объектом от 5 до 30 кВ. В результате возникает эффект газоразрядной визуализации (эффект Кирлиана) – коронный барьерный разряд в газе (свечение), который дает эффект, подобный статическому разряду или молниям (рисунок 1).

Исследования, осуществленные С.Д. Кирлиан и В.Х. Кирлиан еще в советский период показали, что вид изображений свечения меняется при изменении функционального состояния и самочувствия человека [3]. Например, по виду ГРВ-граммы пальцев рук и ног человека оказалось возможным судить об общем уровне и характере физиологической активности его организма, по типу свечения – проводить классификацию его состояния, а по характеру распределения проекций свечения на акупунктурные каналы человека оценивать состояние отдельных функциональных систем и органов человека. Впоследствии были установлены закономерности при изучении реакции организма на различные воздействия, например, лекарственных препаратов, электромагнитных волн, аутотренинга [4, 5].

Рисунок 1. – Эффект Кирлиана

За последние годы достоверно установлено, что метод ГРВ показал свою эффективность в ранней диагностике заболеваний, оценке тяжести их течения, эффективности терапии, в спортивной медицине, а также в психотерапевтической практике [4]. Проведенный анализ литературы показывает, что изменения ГРВ изображений тождественны изменениям в организме человека, верифицированным на основе клинических признаков, данных инструментальных и лабораторных методов диагностики, что свидетельствует об информативности метода ГРВ и перспективности использования этой методики для оперативной оценки психофизиологического состояния спортсменов (рисунок 2) [1, 6].

Рисунок 2. – ГРВ-грамма пальца руки

Высокую практическую ценность при оценке психофизиологического состояния спортсменов показывает метод газоразрядной визуализации, позволяющий в реальном времени оценить психофизиологическое состояние спортсмена и уровень его соревновательной готовности [1]. При этом преимуществами метода ГРВ-биоэлектрографии являются, прежде всего, простота исполнения,

неинвазивность, оперативность получения и обработки результатов использованием компьютерных технологий. В Санкт-Петербургском НИИ физической культуры была разработана методика применения метода ГРВ для анализа психофизического потенциала спортсменов. Она прошла апробацию в паралимпийских сборных России и принята Министерством спорта как одна из базовых методик функционального тестирования. Автоматизированный комплекс ГРВ-анализа дает возможность персонифицированной экспресс-оценки психофизических функциональных резервов спортсмена, а также объективной оценки психофизической готовности спортсмена к соревновательной деятельности [2]. Таким образом, очевидно, что для анализа психофизиологического состояния человека методом газоразрядной визуализации (ГРВ) необходимы технические решения для аппаратурной диагностики психофизиологических состояний спортсменов, уровня готовности к соревновательной деятельности. Одним из таких приборов является программно-аппаратный комплекс «ГРВ-Спорт», основанный на современных цифровых технологиях, компьютерной обработке больших массивов информации и формировании заключений на основе методов машинного интеллекта.

Программно-аппаратный комплекс «ГРВ-Спорт», который основан на изучении энергоэмиссионных процессов с поверхности пальца испытуемого, полученных при помощи метода ГРВ (газоразрядная визуализация). Метод разработан Г.К. Коротковым [3] и основывается на эффекте Кирлиана. В процессе газоразрядной визуализации осуществляется комплексное взаимодействие диагностируемого биологического объекта – кожной поверхности пальца испытуемого (со включением его объемных и поверхностных свойств), приложенного электрического поля и формируемого газового разряда. В результате на экране монитора появляется изображение свечения вокруг пальца, по которому после соответствующей обработки делается заключение о психофизическом состоянии спортсмена (рисунок 3).

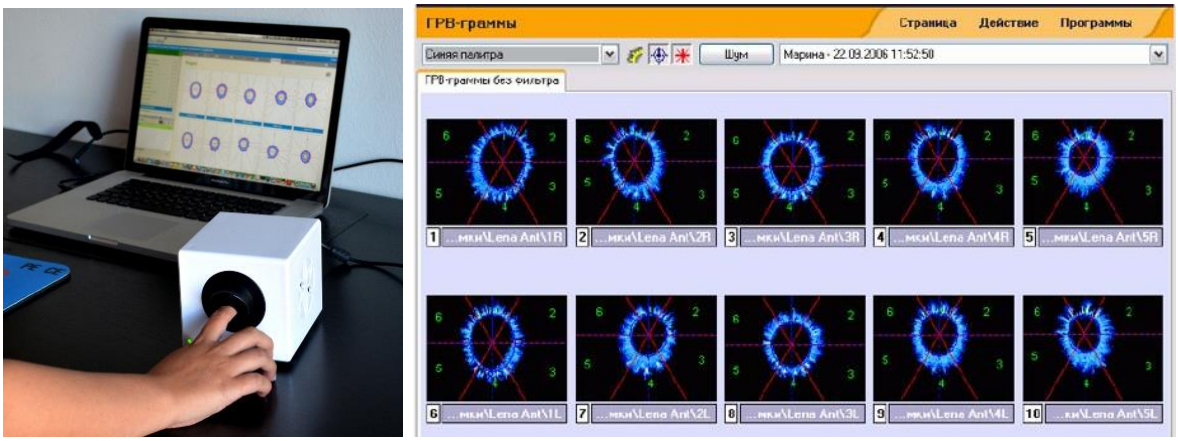

Рисунок 3. – Программно-аппаратный комплекс «ГРВ-Спорт»

Подобный метод обработки данных включает ряд подсистем: информационную, ГРВ-тестирования, расчета динамических ГРВ-параметров, экспертно-аналитическую. В программе «ГРВ-Спорт» автоматически вычисляются параметры психофизиологического состояния испытуемого, выраженные в процентах:

- **функционально-энергетический индекс (ФЭИ)** – характеристика уровня функциональной энергии спортсмена на момент обследования. Чем выше уровень показателя ФЭИ, тем выше потенциальный резерв спортсмена и уровень его соревновательной готовности. Высокое значение ФЭИ обычно характеризует целеустремленность, стресс-устойчивость, высокую двигательную активность, запас потенциальных резервов;
- **функционально-энергетический баланс (ФЭБ)** – характеристика симметрии энергии – распределения уровня функциональной энергии спортсмена между правой и левой рукой на момент обследования; характеризует билатеральный баланс энергетики; чем более симметрично распределена энергетика спортсмена, тем выше функциональный резерв ее использования в момент соревнования; сильная асимметрия является признаком психологического, а в выраженных случаях – и физиологического дисбаланса; явный признак психологической неустойчивости, нервозности, затаенных страхов, фобий, неуверенности в себе;
- **энергодефицит (ЭД)** – наличие энергодефицита психофункционального состояния организма как единого целого с учетом состояния отдельных органов и систем; энергодефицит свидетельствует о состояниях перетренированности, перегрузки, усталости, выработанности энергетических резервов; сильный энергодефицит является признаком и предшественником таких состояний, как нервные и психологические срывы, дизадаптация, иммунодефицит, спортивные травмы; важным диагностическим признаком является скорость восстановления ФЭИ и исчезновение энергодефицита при снятии нагрузок; энергодефицит более 50 % требует повторных периодических измерений и дополнительного исследования функциональных систем;
- **симметрия энергодефицита (СЭД)** – характеристика симметрии распределения энергодефицитных состояний; высокий коэффициент СЭД свидетельствует о наличии потенциально опасного энергодефицита; низкий уровень СЭД свидетельствует о временных функциональных отклонениях;
- **индекс рейтинга (ИР)** – характеристика положения данного конкретного спортсмена в обследуемой группе; ИР может меняться при добавлении данных очередного обследованного спортсмена; индекс рейтинга данного спортсмена может быть различным в разных группах.

В программе также имеется таблица экспертно-диагностических заключений, которая содержит список качеств, характеризующих соревновательные способности спортсменов на момент обследования. Качества, которыми обладает испытуемый, определяются на основании функционально-энергетических параметров и энергетических зон. Каждому спортсмену соответствуют свои экспертно-диагностические заключения.

Анализ ГРВ-грамм, проведенный на большом контингенте спортсменов разной квалификации в различных видах спорта, дает основание утверждать, что ГРВ-граммы спортсменов в состоянии покоя являются относительно более структурированными по сравнению со здоровыми испытуемыми соответствующего

возраста. Анализ связи параметров ГРВ-граммы с величинами, характеризующими особенности свойств личности, сформированность основ осознанной саморегуляции деятельности и рейтинга спортсмена в команде позволяют установить достоверно значимые корреляции со следующими показателями: индекс общей интернальности; стремление к успеху; избегание неудач; рейтинг в команде; интернальность достижений; эмоциональная устойчивость; суммарный коэффициент саморегуляции; тревожность; напряженность.

Таким образом, установлены статистически достоверные корреляционные связи между показателями, определяющими психологическую надежность спортсмена, свойствами личности, показателями сформированности умений к саморегуляции состояний и параметрами метода ГРВ-биоэлектрографии. На основании данных, полученных в исследованиях, можно сделать достоверный прогноз успешности соревновательной деятельности спортсменов с 95 %-ным уровнем значимости. Поэтому использование ГРВ-тестирования позволяет повысить качество отбора юных спортсменов, создать базу данных одаренных спортсменов, обеспечить эффективность и безопасность учебно-тренировочной и соревновательной деятельности атлетов.

Источники:

1. Величко, Е. Н. Оценка соревновательной готовности спортсмена на базе метода газоразрядной визуализации / Е. Н. Величко // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского гос. ун-та инф. технологий, механики и оптики. – 2010. – № 4 (68). – С. 123.

2. Дроздовский, А. К. Экспресс-оценка психофизиологического состояния спортсменов-паралимпийцев в период подготовки и участия в ответственных соревнованиях / А. К. Дроздовский, И. А. Громова, К. Г. Коротков // Адаптивная физическая культура. – 2012. – № 3. – С. 33–35.

3. Коротков, К. Г. Основы ГРВ-биоэлектрографии / К. Г. Коротков. – СПб. : СПбГИТМО (ТУ), 2001. – 360 с.

4. Коротков, К. Г. Применение метода ГРВ-биоэлектрографии в медицине (обзор литературы) / К. Г. Коротков, Е. Г. Яковлева // Вестник СПбГУ. – 2014. – Сер. 11. – Вып. 2. – С. 175–188.

5. Коротков, К. Г. Эффект Кирлиан – прошлое и современность / К. Г. Коротков, М. А. Шустов. – СПб. – Томск, 2017. – 144 с.

6. Короткова, А. К. Биотехническая система мониторинга психофизиологического состояния и прогнозирования результатов соревновательной деятельности спортсменов училищ олимпийского резерва / А. К. Короткова // Сб. науч. тр. аспирантов и соискателей СПбНИИФК. – СПб. : СПбНИИФК, 2004. – С. 68–72.

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНТРОЛЮ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ В ТАЭКВОНДО

Харькова Виктория Александровна, заведующий кафедрой боевых единоборств и специальной подготовки, ведущий специалист Центра координации научно-методической и инновационной деятельности, кандидат педагогических наук, доцент

Контроль координационных способностей (КС). Контроль координационной подготовленности должен проводиться в тесной взаимосвязи с оценкой уровня развития других двигательных способностей и технической подготовленности спортсмена. Он направлен на комплексную оценку различных проявлений координации, а также на относительно изолированное определение уровня специфических и специальных КС [4].

В исследовательской деятельности и тренировочной практике используются три основных варианта тестирования КС:

- комплексная оценка координационной подготовленности с использованием достаточно широкого круга разнообразных тестов, определяющих общие и специальные КС;
- выборочное использование нескольких тестов для оценки одной-двух КС (например, способностей к реагированию и дифференцированию силовых параметров движений);
- оценка одного из компонентов какой-либо одной КС.

Для получения точной количественной оценки уровня развития КС применяются аппаратные или инструментальные методы контроля. В этих целях используются координациометры различной сложности, тремометры-координациометры (при измерении точности, быстроты и экономичности движения), кинематометры, динамометры и рефлексометры (при оценке точности воспроизведения, дифференцирования и отмеривания, соответственно, пространственных, силовых и временных параметров движений), стабилографы (при определении способности поддерживать равновесие тела) и др. [6].

Достаточно эффективными можно считать методы диагностики КС, разрабатываемые на основе видео- и компьютерных технологий. Эти методы позволяют получать срочную информацию о кинематических характеристиках движений (перемещений, скоростей, ускорений) и, соответственно, получать объективную оценку эффективности решения двигательных задач.

Однако, несмотря на то, что применение аппаратурных методов находит все более широкое применение в научных исследованиях КС, следует отметить сложность использования этих методов в условиях реальной тренировочной и соревновательной деятельности спортсменов. Именно по этим причинам основными методами контроля координационной подготовленности спортсменов в различных видах единоборств остаются специально отобранные двигательные тесты.

При отборе тестов для диагностики КС следует учитывать, что при использовании одного, даже достаточно сложного (комплексного) теста, включающего много двигательных заданий, неправомерно судить о степени сформированности

всех без исключения КС. В связи с этим рекомендуется подход, когда каждая отдельная КС изучается по возможности с помощью нескольких гомогенных (однородных) контрольных испытаний [4].

Контроль скоростных способностей. Контроль скоростных способностей может проводиться в условиях специфических и неспецифических испытаний. Неспецифические тесты применяют для контроля элементарных проявлений скоростных способностей (скрытый период простой двигательной реакции, скорость простого одиночного движения, частота движений). При более сложных проявлениях скоростных способностей рекомендуется использовать специфические тесты, характерные для избранного вида спорта [2, 6]. При выборе тестов следует учитывать, что время, в течение которого возможно выполнение работы максимальной интенсивности, обычно не превышает 15–20 с.

Контроль силовых способностей. В спортивной практике осуществляется контроль уровня развития максимальной силы, скоростной силы и силовой выносливости. Силовые качества могут оцениваться при различных режимах работы мышц (динамическом и изометрическом) в специфических и неспецифических тестах.

Показатели, полученные в процессе тестирования, рассматриваются как *абсолютные* и *относительные* (с учетом массы тела). Необходимость подобного разделения обосновывается тем, что при одинаковом уровне тренированности люди большего веса могут проявлять большую силу. Зависимость между силой и собственным весом проявляется тем четче, чем более высока и одинакова спортивная квалификация испытуемых. Для сравнения силы людей различного веса обычно пользуются понятием так называемой относительной силы, под которой понимают величину силы, приходящейся на 1 кг собственного веса. В противоположность этому силу, которую проявляет спортсмен безотносительно к собственному весу, иногда называют абсолютной силой [5].

При выборе тестового задания (упражнения) определяется целью исследования (контроля), половозрастными и личностными особенностями спортсменов, их специализацией и уровнем подготовленности.

Контроль выносливости. Контроль выносливости проводится с помощью разнообразных тестов, которые могут носить специфический и неспецифический характер. *Неспецифические тесты* включают упражнения, отличающиеся от соревновательной деятельности координационной структурой движений и особенностями функционирования обеспечивающих систем. Как правило, в качестве таких упражнений выступают бег или ходьба, педалирование на велоэргометре и т. п. [3].

Специфические тесты строятся на выполнении работы, при которой координационная структура движений и деятельность систем обеспечения этой работы максимально приближены к специфике соревновательной деятельности. С этой целью в единоборствах широко используются специально-подготовительные упражнения (серии бросков манекена, работа на снарядах и т. п.), а также собственно соревновательные упражнения (учебно-тренировочные спарринги в заданном режиме) [1].

Контроль гибкости. Контроль гибкости направлен на выявление способности спортсмена выполнять движения с большой амплитудой. Гибкость и подвижность в суставах определяют инструментальным методом и двигательными тестами. В зависимости от метода оценки гибкость измеряется в угловых или линейных мерах. Максимальная амплитуда движений спортсмена может быть измерена различными методами: гониометрическим, оптическим, рентгенографическим. Также следует учитывать, что абсолютно объективная оценка гибкости спортсмена по определению подвижности в отдельных суставах может сопровождаться средней или низкой подвижностью в других, поэтому для комплексного исследования гибкости необходимо определять амплитуду в разных суставах [6].

Пример батареи тестов, направленных на исследование кондиционной и координационной подготовленности спортсменов-таэквондистов

1. *Челночный бег 4×10 м.*

Оборудование. Разметка дистанции: коридор для бега должен иметь ширину не менее 1 м (не обозначается); линии «старта» и «финиша» должны быть обозначены краской или скотчем.

Процедура тестирования. Испытуемый стоит перед линией в положении высокого старта и по команде «Марш» с максимальной скоростью преодолевает отрезок 10 м, касается линии ступней ноги (рукой) и преодолевает отрезок 10 м в обратном направлении. Всего преодолевается 4 отрезка.

Результат. Фиксируется время преодоления дистанции с точностью до 0,1 с.

2. *Круговой удар дальней ногой в корпус.*

Процедура тестирования. Испытуемый становится в боевую стойку и по команде выполняет удар дальней (задней) ногой с максимальной скоростью по мешку (лапе, макиваре) в средний уровень за 10 секунд. После выполняет другой ногой.

Результат. Фиксируется количество ударов, нанесенных по мешку (лапе, макиваре) за 10 секунд.

3. *Челночный бег спиной вперед 4×10 м.*

Оборудование. Разметка дистанции: коридор для бега должен иметь ширину не менее 1 м (не обозначается); линии «старта» и «финиша» должны быть обозначены краской или скотчем.

Процедура тестирования. Испытуемый стоит перед линией спиной в положении высокого старта и по команде «Марш» с максимальной скоростью преодолевает отрезок 10 м, касается линии ступней ноги (рукой) и преодолевает отрезок 10 м в обратном направлении. Всего преодолевается 4 отрезка.

Результат. Фиксируется время преодоления дистанции с точностью до 0,1 с.

4. ***Челночный бег (веерный бег) 10×4 м.***

Оборудование. Пилоны (набивные мячи) – 5 шт., с нанесенными цифрами (от 1 до 5). Ровная площадка для бега с длиной стороны не менее 7–8 м. Пронумерованные пилоны располагаются «веером» на расстоянии 150 см друг от друга. Расстояние до центральной отметки – 4 м.

Процедура тестирования. Испытуемый стоит на старте (возле центрального пилона) в положении высокого старта спиной. Испытуемый, услышав команду, с максимальной скоростью пробегает расстояние до пилона, касается его рукой и возвращается назад (к центральному пилону). Процедура повторяется 5 раз.

Результат. Фиксируется время преодоления дистанции с точностью до 0,1 с.

5. ***Бег «зигзагом» 10×4 м с поворотами на 360°.***

Оборудование. Разметка дистанции: общий коридор для бега должен иметь ширину не менее 5 м; в начале и конце каждого из 4-метровых отрезков выставлены пилоны (набивные мячи).

Процедура тестирования. По команде «На старт» испытуемый становится в положение высокого старта и по команде «Марш» преодолевает пять 3-метровых отрезков, двигаясь по «зигзагообразным» прямым (влево и вправо под углом 45°) вперед, а затем пять 4-метровых отрезков назад. Расположенный в конце каждого отрезка пилон испытуемый обегает поочередно влево и вправо. На каждом из 4-метровых отрезков испытуемый должен выполнить поворот на 360°, поочередно в левую и правую стороны (всего 10 поворотов).

Результат. Фиксируется время преодоления дистанции с точностью до 0,1 с.

6. ***Прыжок в длину с места спиной вперед.***

Процедура тестирования. Проводится на нескользкой поверхности. Испытуемый встает у стартовой линии в исходное положение спиной вперед (ступни ног параллельно) и толчком двумя ногами с одновременным взмахом рук совершает прыжок назад. Предварительное подпрыгивание при отталкивании от опоры не допускается. Приземление происходит одновременно на обе ноги. Измерение осуществляется по отметке, расположенной ближе к стартовой линии.

Оценка результатов. Засчитывается лучший результат из трех попыток.

7. ***Приседание на одной ноге («пистолет»).***

Процедура тестирования. Проводится на нескользкой поверхности. Испытуемый встает одной ногой на ограниченную опору (тумба, гимнастическая скамейка) высотой 20–30 см от пола. Держась рукой за партнера (шведскую стенку), по команде «Марш!» выполняет приседание на опорной ноге за 10 с. После выполняет упражнение другой ногой.

Оценка результатов. Засчитывается количество приседаний на опорной ноге за 10 с.

8. ***Прыжок в длину с места.***

Процедура тестирования. Проводится на нескользкой поверхности. Испытуемый встает у стартовой линии в исходное положение (ступни ног параллельно) и толчком двумя ногами с одновременным взмахом рук совершает прыжок. Предварительное подпрыгивание при отталкивании от опоры не допускается. Приземление происходит одновременно на обе ноги. Измерение осуществляется по отметке, расположенной ближе к стартовой линии.

Оценка результатов. Засчитывается лучший результат из трех попыток.

9. ***Выпрыгивание вверх с места.***

Процедура тестирования. И. п. – стойка ноги врозь, ноги слегка согнуты в коленных суставах. После предварительного приседа выпрыгнуть вверх за счет разгибания ног и взмаха руками вперед-вверх. Перед выполнением дается установка на индивидуальный максимум. Засчитывается лучший результат из трех попыток. Измерение: в исходном положении измеряется расстояние от условного центра тяжести (место крепления измерительной ленты в области поясницы) до пола. При выполнении прыжка лента вытягивается на длину, равную высоте прыжка. Итоговый результат определяется по разности конечного и исходного.

Оценка результатов. Засчитывается лучший результат из двух (трех) попыток.

10. ***Метание набивного мяча (ядра) 3 кг.***

Процедура тестирования. Метание выполняется двумя руками снизу стоя лицом вперед.

Оценка результатов. Засчитывается лучший результат из трех попыток.

11. ***Подтягивание на перекладине из виса.***

Процедура тестирования. И. п.: вис на перекладине хватом сверху, руки полностью выпрямлены в локтевых суставах. Подтягивание засчитывается при положении, когда подбородок испытуемого находится выше уровня перекладины. Каждое последующее подтягивание выполняется из исходного положения. Запрещены движения тазобедренных и коленных суставов и попеременная работа руками.

Оценка результатов. Оценивается максимальное количество повторений.

12. ***Поднимание туловища из положения лежа на спине.***

Процедура тестирования. Исходное положение: лежа на спине, ноги согнуты в коленных суставах под прямым углом, руки за головой. Партнер удерживает ноги за голеностопный сустав. Испытуемый поднимает туловище до касания локтями колен. Затем возвращается в исходное положение до касания лопатками пола. При нарушении правил попытка не засчитывается.

Оценка результатов. Оценивается максимальное количество полных циклов, выполненных за 30 с.

13. *Сгибание и разгибание рук в упоре лежа.*

Процедура тестирования. И. п.: упор лежа на горизонтальной поверхности, руки полностью выпрямлены в локтевых суставах, туловище и ноги составляют одну прямую линию. Отжимание засчитывается, когда испытуемый, коснувшись грудью пола (горизонтальной поверхности), возвращается в исходное положение. При выполнении упражнения запрещены движения в тазобедренных суставах.

Оценка результатов. Оценивается максимальное количество повторений.

14. *Челночный бег 10×20 м.*

Оборудование. Разметка дистанции: коридор для бега должен иметь ширину не менее 1 м (не обозначается); линии «старта» и «финиша» должны быть обозначены краской или скотчем.

Процедура тестирования. Испытуемый стоит перед линией в положении высокого старта и по команде «Марш» с максимальной скоростью преодолевает отрезок 20 м, касается линии ступней ноги (рукой) и преодолевает отрезок 20 м в обратном направлении. Всего преодолевается 10 отрезков.

Результат. Фиксируется время преодоления дистанции с точностью до 0,1 с.

15. *Круговой удар дальней ногой в корпус.*

Процедура тестирования. Испытуемый становится в боевую стойку и по команде выполняет удар дальней ногой с максимальной скоростью по мешку (лапе, макиваре) в средний уровень за 1 мин. После выполняет другой ногой.

Результат. Фиксируется количество ударов, нанесенных по мешку (лапе, макиваре) за 1 мин.

16. *Наклон вперед в положении сидя.*

Процедура тестирования. Упражнение выполняется из положения сидя, ноги врозь, выпрямлены. Глубину наклона измеряют по расстоянию между кончиками пальцев рук и поверхностью линейки, прикрепленной к полу таким образом, чтобы нулевая отметка совпадала с поверхностью стоп испытуемого. Не разрешается сгибать колени и делать рывковые движения.

Общие рекомендации по организации тестирования

1. Организация группы испытуемых

Руководитель группы:

- должен построить группу, проверить списочный состав, спросить о самочувствии и кратко объяснить алгоритм выполнения тестов (не более 5 мин);
- показать, как выполняются и оцениваются упражнения на каждой станции;
- предоставить испытуемым время для короткой разминки или провести ее организованно (7–8 мин);
- распределить испытуемых по подгруппам;
- проверить готовность экспертов и мест для приема тестов;
- приступить к приему тестов.

2. Подготовка мест для приема тестов:

- места для приема тестов должны быть подготовлены заранее (не позднее 15 мин до начала работы);
- перед проведением тестов необходимо проверить наличие инвентаря, правильность расстановки отметок и указателей, исправность измерительной аппаратуры;
- проверку рекомендуется осуществлять в определенной последовательности, делая отметки в специальной карточке.

3. Проведение тестов:

- тестовые упражнения должны выполняться в строгой последовательности;
- интервалы отдыха между отдельными упражнениями должны соблюдаться вне зависимости от количества испытуемых в группе.

4. Регистрация результатов тестов:

- результаты тестирования заносятся в протоколы с точностью, приведенной в описании упражнения.

5. Обработка результатов тестов:

- при обработке результатов тестов необходимо руководствоваться указаниями, приведенными в описании каждого конкретного упражнения;
- на первом этапе определяются только индивидуальные показатели (не высчитываются среднегрупповые значения.

Источники:

1. Барташ, В. А. Основы спортивной тренировки в рукопашном бое : учеб. пособие / В. А. Барташ. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. – 479 с. : ил. + 1 электрон. опт. диск.
2. Годик, М. А. Контроль в спортивной тренировке / М. А. Годик // Современная система спортивной тренировки / под ред. Ф. П. Суслова, В. Л. Сыча, Б. Н. Шустина. – М., 1995. – С. 237–266.
3. Иванченко, Е. И. Контроль и учет в спортивной подготовке : пособие / Е. И. Иванченко. – 2-е изд., стер. – Минск : БГУФК, 2012. – 60 с.
4. Лях, В. И. Координационные способности: диагностика и развитие / В. И. Лях. – М. : ТВТ Дивизион, 2006. – С. 89–102; 151–168.
5. Матвеев, Л. П. Основы общей теории спорта и системы подготовки спортсменов / Л. П. Матвеев. – Киев : Олимпийская литература, 1999. – С. 221–258.
6. Платонов, В. Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В. Н. Платонов. – Киев : Олимпийская литература, 2004. – С. 441–455.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ОТСЛЕЖИВАНИЯ И АНАЛИЗА ДВИЖЕНИЙ СПОРТСМЕНОВ

Разуванов Владимир Михайлович, ведущий специалист информационно-аналитического отдела, старший преподаватель кафедры менеджмента туризма и гостеприимства БГУФК

Практические и исследовательские задачи в области спорта зачастую требуют отслеживания и анализа движений спортсменов. Движения спортсмена и отдельных звеньев его тела представляют наиболее информативные данные, которые в сочетании с характеристиками снаряда и среды позволяют с необходимой точностью диагностировать уровень развития физических качеств и двигательных способностей человека, по сути, движения – производные множества внешних и внутренних факторов, влияющих на спортсмена. Однако отслеживание движений должно быть произведено с необходимым и достаточным уровнем точности, который может существенно различаться в зависимости от целей – тренировочных, соревновательных или исследовательских.

К сожалению, информация о точности и практическом применении измерительных систем в тех или иных условиях не всегда является полной и доступной реальному пользователю. Спецификации, сообщаемые производителями оборудования, как правило, определены в технических условиях и настройках, которые могут существенно отличаются от условий, в которых проводятся реальные спортивные измерения.

Во-первых, спортивные измерения проводятся во «внелабораторных» условиях: на поле, стадионе, катке или иной спортивной арене. Область за пределами контролируемой лабораторной среды создает целый ряд проблем, в числе которых можно выделить различное местоположение (внутри или снаружи помещения), погодные условия (температура, влажность, давление), помехи измерения (шум, рассеяние, магнитные поля), препятствия в зоне измерения, снижающие видимость и прохождение сигналов. Во-вторых, объем измерения (захвата объекта) часто бывает более широким, нежели это необходимо, при этом, как известно, точность обратно пропорциональна широте охвата системы позиционирования, что обычно делает ее ограничивающим фактором при выборе системы отслеживания. Когда перемещение участников становится значительным, иногда используются эргометры для регистрации большого количества циклов движения [1]. Однако это не всегда желательно, поскольку движения на эргометре могут существенно отличаться от реальных спортивных движений или просто потому, что не существует эргометра, на котором можно воспроизвести движение с необходимой модельной точностью. В-третьих, измерения в области спорта часто сопряжены с высоко динамичными движениями, которые значительно труднее зафиксировать, нежели статические или медленные движения. Например, необходимость высоких частот дискретизации представляет собой существенную техническую проблему. Для спортивных приложений типичные частоты дискретизации составляют от 50 до 250 Гц,

при этом предпочтение отдается предотвращению использования слишком высоких частот дискретизации с тем, чтобы избежать чрезмерных объемов данных и высокочастотного шума. Лишь в особых случаях необходимы высокие частоты (>1000 Гц), например, для изучения движений, производимых с очень высокой скоростью или точностью (например, подача мяча в теннисе, удара в футболе и т. п.). Кроме того, измерительная система, как правило, связана с динамикой движения, что оказывается проблематичным в инерциальных измерительных устройствах, где линейные ускорения могут нарушить оценку ориентации датчика алгоритмами их объединения. В-четвертых, когда система измерения требует размещения датчиков, маркеров, транспондеров или меток непосредственно на спортсмене, размер и вес датчиков могут оказывать негативное влияние на качество измерения, особенно в условиях, требующих максимальных проявлений физических качеств и высоких степеней свободы движений.

Цель настоящего обзора – предоставить информацию, достаточную для обеспечения выбора системы отслеживания и анализа движений, релевантной для тех или иных спортивных задач. В рамках цели был проведен обзор литературы по доступным системам отслеживания движений человека, которые применялись в рецензируемых научных статьях по спортивной проблематике.

В материале представлен анализ различных измерительных систем и их спецификаций по данным производителей (вес, размер датчиков, максимальный объем захвата, экологические параметры и др.), кроме того, сообщается об инструментальных ошибках измерения (точность), определенных в рецензируемых исследованиях. Кроме того, излагаются принципы функционирования каждой из систем, поскольку именно принципы определяют потенциал, ограничения и общие характеристики системы.

В результате были проанализированы 17 различных систем контроля движений человека.

Спецификации включают количество камер и маркеров, частоту дискретизации, систему отсчета, движение, статистическое значение, объем и диапазон измерения и сообщаемую точность.

Как и ожидалось, точность измерительных систем обратно пропорциональна охвату системы позиционирования, иными словами, более низкая точность характерна для большего объема измерения. Спецификации с точки зрения практических и технологических трудностей, связанных с типами измерительных систем, сильно зависят от их физических принципов работы.

В отслеживании движений можно выделить пять систем, основанных на различных принципах работы: оптоэлектронные измерительные системы (OMS), электромагнитные измерительные системы (EMS), системы обработки изображений (IMS), ультразвуковые системы локализации (UMS) и инерциальные сенсорные системы (IMU).

Оптоэлектронные измерительные системы (OMS) характеризуются максимальной сравнительной точностью. Оптические системы (например, Optotrak или Vicon) часто рассматриваются в литературе как «золотой стандарт» в области контроля движения [6]. OMS использует свет для оценки трехмерного

положения маркера с помощью триангуляции во времени. Точность систем зависит от следующих частей экспериментальной установки: расположение камер относительно друг друга, расстояние между камерами и маркерами, положение, количество и тип маркеров, а также движение маркеров в объеме захвата [16]. Кроме того, в подобных системах существует компромисс между разрешением камеры и частотой дискретизации. OMS использует стационарные камеры, вследствие чего может собирать данные только в ограниченной области [1], при этом объем захвата зависит от максимального количества камер и поля зрения каждой камеры. Наибольший диапазон измерения с помощью систем OMS составляет 824 м^2 (показатель получен с помощью измерительной системы Vicon MX13) [20]. Для обеспечения подобного диапазона потребовалось 24 камеры. Такое значительное количество камер приводит к серьезным ограничениям в отношении стоимости, портативности, калибровки, синхронизации, трудозатрат и настройки. Дополнительным ограничением системы является необходимость прямой видимости, – вывод данных будет прерван, когда камеры потеряют из виду маркеры [20]. Кроме того, системы очень чувствительны к изменениям в настройках и могут выйти из строя из-за случайного смещения камеры [25]. Подобные системы, в основном, используются в относительно темных местах, в помещении, поскольку измерения серьезно ограничиваются в условиях яркого солнечного света [20].

Оптоэлектронные системы делятся на две категории: активные маркерные системы и пассивные маркерные системы. В пассивных системах используются маркеры, которые отражают свет по направлению к датчику. Примером пассивных систем захвата движения являются системы Vicon. В активных системах используются маркеры, самостоятельно излучающие свет (обычно – инфракрасного диапазона). Типичным примером оптической системы с активным маркером является система Optotrak 3020. Преимущество активных маркеров по сравнению с пассивными заключается в том, что полученные измерения являются более надежными, однако для активных маркеров требуются дополнительные кабели и источники питания, что существенно ограничивает их использования при необходимости оценки движений, требующих максимальной степени свободы [21]. Кроме того, при использовании нескольких маркеров снижается максимальная частота дискретизации, поскольку сигнал каждого отдельного маркера должен иметь различимую частоту, по которой система может его идентифицировать.

Довольно оригинальным способом повышения дистанции работы систем OMS на основе маркеров является система захвата скользящего движения [1]. При данном методе камеры размещаются на движущейся раме, при обеспечении фиксированных интервалов между ними. Этот метод был применен в трехмерном кинематическом анализе гребли с системой записи с тремя камерами, установленными на лодке рядом с гребцами [11]. Данное исследование продемонстрировало точность около 30 мм в средних суставных центрах. Исследователи, однако, пришли к выводу, что этот метод требует существенных временных затрат – в основном из-за необходимости калибровки, поэтому не подходит для обычного использования в тренировочном процессе [11].

Примером системы, основанной не на маркерах, а на приемниках, которые крепятся к отслеживаемому объекту или участнику, является Indoor GPS (iGPS). Физический принцип работы iGPS, несмотря на видимое сходство названия с GPS кардинально отличается от обычной системы GPS. Данная система имеет передатчик, который использует лазерный и инфракрасный свет для трансляции информации о местоположении от передатчика к приемнику. Преимущество этой системы с односторонней передачей сигнала состоит в том, что практически не существует предела ее масштабируемости. Это позволяет добавлять столько передатчиков, сколько необходимо для охвата любой обширной территории, при этом можно использовать практически неограниченное количество приемников. Точность системы, определенная на крытом катке площадью 12 600 м^2, составила 6,4 мм [24]. Единственным существенным недостатком системы, ограничивающим ее применение для отдельных спортивных задач, является размер и вес приемников, которые необходимо крепить к телу спортсмена.

Электромагнитные измерительные системы (EMS) находят положения измерительных транспондеров посредством анализа времени прохождения электромагнитных волн – радиоволн от транспондера к базовым станциям [22]. EMS обеспечивает большие объемы захвата, но менее точна, по сравнению с OMS. Любая EMS менее точна, нежели любая оптоэлектронная система, даже с наихудшими характеристиками. В отличие от OMS, для определения положения транспондеров EMS не требуется прямой видимости – человеческое тело также «прозрачно» для применяемого поля [18]. Ограничения системы связаны с чувствительность к ферромагнитным материалам в окружающей среде, что снижает точность данных, причем снижение тем более существенно, чем больше расстоянии между базовой станцией и транспондером – растет шум, а качество сигнала снижается [7]. EMS обычно имеет низкую частоту дискретизации, что также является недостатком в контексте спортивного контроля. Частоты дискретизации снижаются при использовании нескольких маркеров, при этом из всех систем EMS двухчастотная система GPS-ГЛОНАСС демонстрирует наиболее многообещающее сочетание дальности и точности: точность 0,04 м в диапазоне 15 000 м^2. GNSS – это спутниковые навигационные системы, примерами которых являются GPS, ГЛОНАСС и GALILEO. Спутники передают данные, содержащие информацию о местоположении спутника и глобальном времени. Поскольку все спутники имеют разное положение, время, необходимое для того, чтобы данные достигли приемника, различаются, что дает возможность определить расстояние до всех спутников. Если приемник получает информацию с четырех спутников, то положение объекта в 3D уже можно оценить, хотя информация о высоте определяется в 2–3 раза хуже, чем о горизонтальном смещении [2]. Следует обратить внимание и на то, что все системы GNSS являются дифференциальными системами, которые имеют дополнительный приемник GNSS в качестве статической базовой станции в пределах 5 км от полигона. Измерение спутниковых сигналов базовой станции объединяется с измерениями мобильной GNSS в целях повышения точности. Недостатком систем GNSS является стоимость, вес, габариты приемников и антенны. Систему GNSS нельзя

использовать в помещении, кроме того, она чувствительна к физическим препятствиям и погодным условиям. Точность системы GNSS в существенной мере зависит от ее характеристик, например, недорогие одночастотные устройства GNSS имеют значительно более низкую точность (до 4 м), чем дорогостоящие двухчастотные устройства (до 0,04 м), особенно в плохих условиях [8]. Однако высококлассные дорогие двухчастотные устройства также и более громоздки.

В отличие от GNSS, все иные системы EMS можно использовать в помещении, поскольку они используют местные базовые станции вместо спутниковых сигналов. Измерение локального положения (LPM) реализуется посредством базовых станций, расположенных по всей площади, и транспондеров, которые носят спортсмены. Основная базовая станция сначала отправляет триггер на каждый транспондер, после чего каждый передатчик отправляет помеченные электромагнитные волны на все иные базовые станции. Как и в случае с GNSS, как минимум четыре базовые станции должны получить сигнал для определения трехмерного положения транспондера по времени сигнала. Система работает как в помещении, так и на открытой местности. Точность системы составляет 0,23 м для динамической ситуации (23 км/ч) на площади 3840 м^2.

Сопоставимым с принципом работы LPM, но менее точным, является система беспроводной специальной системы позиционирования (WASP). WASP использует теги и узлы привязки, размещенные в фиксированных позициях, для отслеживания участников в 2D. Достигаемая точность зависит от места проведения и варьируется от 0,25 м в закрытых спортивных залах до 2 м при работе через несколько стен [10]. В спортивных исследованиях точность от 0,48 до 0,7 м была обнаружена на крытом баскетбольном поле (420 м^2) [10]. Точность данной системы также ограничена полосой пропускания передаваемого радиосигнала.

Радиочастотная идентификация (RFID) – это беспроводная бесконтактная система, которая использует электромагнитные волны и электромагнитные поля для передачи данных с метки, прикрепленной к объекту, на считывающее устройство RFID. Существует два типа меток: активные метки, которые активно излучают радиоволны, и пассивные метки, которые можно считывать только на коротких расстояниях, поскольку они питаются и считываются с помощью магнитных индуктивных полей. Пассивные метки практически не имеют срока службы, так как не требуют источника питания. Ковер RFID состоит из пассивных меток и имеет точность 0,17 м на площади 5,4 м^2 [19]. Примером системы RFID является Ubisense – коммерчески доступная система, изначально разработанная для предприятий в целях отслеживания активов и персонала, в которой используется активная технология RFID. В спорте система была протестирована на крытом баскетбольном поле (420 м^2) с точностью 0,19 м [17]. На качество связи между метками и считывателями RFID могут влиять такие факторы, как затухание, перекрестные пути сигналов и помехи от других RFID-меток, считывателей RFID и различных радиочастотных устройств [23].

Системы обработки изображений (IMS) обычно имеют более высокую точность по сравнению с EMS и больший диапазон по сравнению с OMS. В системах IMS отснятые фильмы или фотографии обрабатываются в цифровом

формате. В отличие от других методов измерения, основанных на использовании датчиков, этот метод базируется на оптических сигналах, фиксируемых камерами и алгоритмах компьютерной визуализации. Отслеживание объектов без использования маркеров может быть большим преимуществом в спорте, например, при фиксации событий [26]. Наряду с преимуществами, метод не лишен недостатков и ограничений. Одним из основных недостатков является сложность распознавания изображений в режиме реального времени, что требует значительных вычислительных мощностей. Также для качественной фиксации изображений могут потребоваться дорогие камеры, имеющие высокое разрешение и высокую частоту, при этом, как правило, повышение разрешения камеры приводит к уменьшению возможных максимальных частот дискретизации. Точность измерений также зависит от установки оборудования, а именно от положения камеры относительно траектории объекта и их количества [15].

Системы на основе «машинного зрения» можно разделить на две категории: отслеживание на основе моделей и отслеживание на основе признаков. Отслеживание на основе модели использует 3D-модель отслеживаемого объекта. В базовой концепции отслеживания на основе модели информация о позе обновляется в каждом видеокадре, сначала с использованием динамической модели через фильтр предсказания, а затем с помощью измерений в видеокадре. Недостатком систем слежения на основе моделей является то, что их сложно использовать в неизвестных условиях, кроме того, они ограничивают движение камеры из-за необходимости в дополнительной информации, такой как 3D-модели участников и окружающей среды [5].

Алгоритмы отслеживания на основе признаков используют «точки интереса» в кадрах для отслеживания объекта. Существует два типа алгоритмов отслеживания на основе признаков: отслеживание маркеров, в котором используются известные маркеры, и отслеживание без маркеров, которое фокусируется на отслеживании 2D-элементов, таких как углы, края или текстура. Следует обратить особое внимание на то, что отслеживание маркеров в IMS отличается от OMS, поскольку IMS использует свет видимого диапазона, тогда как OMS работает с инфракрасным спектром. При отслеживании маркеров используются заранее известные маркеры для отслеживания объекта. Обычно данный метод дает более высокую точность, нежели обнаружение естественных признаков (например, углов или краев изображений), однако маркеры должны быть установлены на место с достаточно высокой точностью. В спорте отслеживание на основе маркеров применялось при сборе кинематических данных на лыжных трассах и трассах для сноуборда, где была получена точность 0,04 м в диапазоне 2500 м^2 [12]. Отслеживание без использования маркеров устраняет зависимость от предварительных знаний об окружающей среде и расширяет рабочий диапазон. Подобного рода «естественное отслеживание» является острой и перспективной темой, например, в технологиях искусственного зрения и дополненной реальности. Однако в подобных приложениях камеры фактически прикреплены к отслеживаемому объекту, в отличие от спортивного приложения, где, как известно, камера статична при панорамировании, наклоне и/или масштабировании. В одном из исследований панорамная камера была закреплена к потолку

с тем, чтобы отслеживать спортсменов, занимающихся шорт-треком, используя цветовую гистограмму, при этом была получена точность на уровне 0,23 м при общей площади охвата 810 м^2 [14].

Датчик Kinect, который изначально был разработан для того, чтобы пользователи могли взаимодействовать с игровой системой без необходимости использования традиционного портативного контроллера, также может быть классифицирован как безмаркерное устройство слежения, хотя принцип его работы несколько отличается от того, что было описано ранее. Система проецирует рисунок инфракрасного лазера на область обзора камеры. Инфракрасная камера обнаруживает рисунок и позволяет создавать трехмерную карту путем измерения деформации эталонного рисунка. Благодаря низкой стоимости и приемлемой точности (0,19 м на 7,5 м^2), прибор часто используется в научных исследованиях [4]. Недостатком камеры Kinect является небольшое поле зрения, кроме того, система уязвима для темных поверхностей, которые поглощают свет, блестящих поверхностей, которые приводят к зеркальному отражению, и шероховатых поверхностей, если угол падения падающего света слишком велик [9].

В настоящее время доступные измерительные системы на основе «компьютерного зрения» уступают оптоэлектронным и системам EMS, а их максимальный диапазон невелик. Хотя в настоящее время полноценной, удовлетворяющей всем требованиям спортивной практики системы измерения на основе компьютерного зрения не существует, уже сегодня доступно большое количество программ с открытым исходным кодом, а учитывая темпы прогресса в технологиях машинного обучения и искусственного интеллекта, можно не без оснований предположить, что подобные системы в ближайшее десятилетие будут созданы. Базы данных с открытым исходным кодом с кинематическими данными человека предоставляются разработчикам для проверки их алгоритмов, что не только позволяет протестировать разработанные системы, но и упрощает сравнение систем между собой, что дает исследователям, разрабатывающим собственные измерительные системы, необходимые ресурсы.

Ультразвуковые системы локализации UMS чаще всего используются для измерений на малых расстояниях. UMS определяют положение объекта с помощью времени прохождения ультразвуковой волны, распространяющейся по воздуху. Эти системы также называют акустическими, поскольку они используют звуковые волны. Преимущество ультразвука состоит в том, что он не слышим человеком, что весьма полезно в исследованиях, поскольку не отвлекает участников, при этом недостатком ультразвука является ограниченный диапазон в сравнении со слышимым диапазоном. Кроме того, направленность ультразвука может быть недостатком при работе с динамическими измерениями. Система, основанная на ультразвуковой локализации в спорте, обладает точностью 0,05 м на площади 9 м^2 [3].

Системы измерения на основе инерциальных датчиков IMU – устройство, состоящее из акселерометра, гироскопа и часто – магнитометра. Путем объединения информации от акселерометра (гравитационное ускорение) с данными гироскопа (скорость вращения) можно определить ориентацию устройства. Магнитометр используется для отслеживания магнитного севера для

определения курса IMU. На рынке имеется множество коммерчески доступных IMU. В качестве автономной системы устройство не может определить свое (глобальное) положение, однако теоретически, акселерометр можно использовать для определения положения путем двойного интегрирования, но данные при этом будут подвержены большим дрейфам интегрирования. Положение в глобальном пространстве можно оценить, когда IMU комбинируется с твердотельной моделью человека. Таким образом, IMU размещаются на сегментах тела для определения общей ориентации. IMU не имеют базовой станции и поэтому являются наиболее мобильными из всех доступных измерительных систем, кроме того, система способна обнаруживать очень быстрое движение и является неинвазивной для пользователя, что делает ее привлекательной для применения в спорте (гимнастика, плавание) [13]. Основным недостатком подобных систем является подверженность ошибкам измерения из-за близости металлов, кроме того, алгоритмы объединения датчиков чувствительны к линейным ускорениям.

Выбор оптимальной системы отслеживания движений в спорте является нетривиальной задачей. Для целей выбора можно выделить несколько широких категорий, которые требуют схожих характеристик в системе измерения.

Следует различать командные и индивидуальные виды спорта. В командных видах спорта системы, как правило, используются для отслеживания положения, расстояния, скорости и ускорения игроков, тогда как в индивидуальных видах акцент делается на анализ техники. Командные виды спорта, в первую очередь, связаны с большими объемами измерений и часто сопряжены с окклюзиями. Точность отслеживания для такого рода приложений не так важна, как для анализа техники. Таким образом, наиболее подходящими системами для этих целей являются EMS.

Индивидуальные виды спорта отличаются друг от друга условиями занятий – в помещении или на открытом воздухе, кроме того, их можно разделить на виды спорта с большим объемом и меньшей площадью охвата. Индивидуальные виды спорта, как правило, требуют более высокой точности отслеживания движений, хотя индивидуальные действия игроков в командных видах спорта не отличаются по структуре требований от индивидуальных. Относительно небольшие объемы данных могут эффективно обрабатываться высокоточной системой OMS. Индивидуальные виды спорта, требующие больших объемов данных, в настоящее время являются наиболее важными с точки зрения измерения кинематики. Наиболее релевантными системами в данном контексте являются системы IMS и IMU, однако эти категории систем часто требуют разработки эффективного алгоритма (либо для отслеживания в случае IMS, либо комбинированной фильтрации в случае IMU). Таким образом, в целом можно сделать вывод, что существует определенный дефицит систем измерения для захвата больших объемов с высокой точностью.

В заключении можно сделать общий вывод о том, что системы отслеживания и анализа движений являются одним из наиболее перспективных методов контроля в спорте вообще и контроля физических качеств спортсмена в частности, поскольку именно в движениях интегрируются двигательные возможности человека в наиболее естественных условиях спортивной деятельности.

При этом выбор систем отслеживания движений обусловливается особенностями вида спорта, необходимым уровнем точности, наличием ресурсов, а также конкретными задачами спортивной деятельности, принимая во внимание преимущества и недостатки каждой из систем.

Источники:

1. Computation of the 3D kinematics in a global frame over a 40 m-long pathway using a rolling motion analysis system / M. Begon [et al.] // Journal of Biomechanics. – 2009. – Vol. 42 (16). – P. 2649–2653.

2. Comparison of accuracy of GPS techniques / M. Berber [et al.] // Measurement. – 2012. – Vol. 45 (7). – P. 1742–1746.

3. Design and implementation of an ultrasonic localization system for wireless sensor networks using angle-of-arrival and distance measurement / O. Bischoff [et al.] // Procedia Engineering. – 2012. – Vol. 47. – P. 953–956.

4. Validity and reliability of the Kinect within functional assessment activities: Comparison with standard stereophotogrammetry / B. Bonnechere [et al.] // Gait & Posture. – 2014. – Vol. 39 (1). – P. 593–598.

5. Markerless analysis of front crawl swimming / E. Ceseracciu [et al.] // Journal of Biomechanics. – 2011. – Vol. 44 (12). – P. 2236–2242.

6. Markerless motion capture through visual hull, articulated icp and subject specific model generation / S. Corazza [et al.] // International Journal of Computer Vision. – 2010. – Vol. 87 (1). – P. 156–169.

7. Evaluation of a long-range transmitter for use with a magnetic tracking device in motion analysis / J. S. Day [et al.] // Journal of Biomechanics. – 1998. – Vol. 31 (10). – P. 957–961.

8. Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports / R. Duffield [et al.] // Journal of Science and Medicine in Sport. – 2010. – Vol. 13 (5). – P. 523–525.

9. Dutta, T. Evaluation of the Kinect sensor for 3D-kinematic measurement in the workplace / T. Dutta // Applied Ergonomics. – 2012. – Vol. 43 (4). – P. 645–649.

10. Improved wireless tracking for indoor sports / M. Hedley [et al.] // Procedia Engineering. – 2011. – Vol. 13. – P. 439–444.

11. Kersting, U. G. Three-dimensional assessment of on water rowing technique: a methodological study / U. G. Kersting // In the XXVI International Conference on Biomechanics in Sports, Seoul, Korea 14–18 July 2008. – Seoul, 2008. – P. 72.

12. Collecting kinematic data on a ski/snowboard track with panning, tilting, and zooming cameras: Is there sufficient accuracy for a biomechanical analysis? / M. Klous [et al.] // Journal of Sports Sciences. – 2010. – Vol. 28 (12). – P. 1345–1353.

13. Inertial sensor, 3D and 2D assessment of stroke phases in freestyle swimming / J. B. Lee [et al.] // Procedia Engineering. – 2011. – Vol. 13. – P. 148–153.

14. A novel approach for tracking high speed skaters in sports using a panning camera / G. Liu [et al.] // Pattern Recognition. – 2009. – Vol. 42 (11). – P. 2922–2935.

15. Velocity vector (3D) measurement for spherical objects using an electrooptical device / E. Lluna [et al.] // Measurement. – 2011. – Vol. 44 (9). – P. 1723–1729.

16. Accuracy of an optical active-marker system to track the relative motion of rigid bodies / L. P. Maletsky [et al.] // Journal of Biomechanics. – 2007. – Vol. 40 (3). – P. 682–685.

17. Perrat, B. Quality assessment of an ultra-wide band positioning system for indoor wheelchair court sports / B. Perrat // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology. – 2015. – Vol. 229 (2). – P. 81–91.

18. Schepers, H. M. Stochastic magnetic measurement model for relative position and orientation estimation / H. M. Schepers, P. H. Veltink // Measurement Science and Technology. – 2010. – Vol. 21 (6). – P. 658–701.

19. An RFID-based position and orientation measurement system for mobile objects in intelligent environments / A. A. Shirehjini [et al.] // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2012. – Vol. 61 (6). – P. 1664–1675.

20. Collecting kinematic data on a Ski track with optoelectronic stereophotogrammetry: A methodological study assessing the feasibility of bringing the biomechanics Lab to the field / J. Spörri [et al.] // PloS One. – 2016. – Vol. 11 (8). – P. 161–757.

21. Design, development and evaluation of optical motion-tracking system based on active white light markers / I. Stancic [et al.] // IET Science, Measurement & Technology. – 2013. – Vol. 7 (4). – P. 206–214.

22. Stelzer, A. Concept and application of LPM-a novel 3D local position measurement system / A. Stelzer // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2004. – Vol. 52 (12). – P. 2664–2669.

23. The study on using passive RFID tags for indoor positioning / S. L. Ting [et al.] // International Journal of Engineering Business Management. – 2011. – Vol. 3 (1). – P. 15.

24. Van der Kruk, E. Accuracy of human motion capture systems for sport applications; state-of-the-art review / E. Van der Kruk, M. Marco Reijne // European journal of sport science. – 2018. – Vol. 18 (6). – P. 806–819.

25. Systematic accuracy and precision analysis of video motion capturing systemsexemplified on the vi-con-460 system / M. Windolf [et al.] // Journal of Biomechanics. – 2008. – Vol. 41 (12). – P. 2776–2780.

26. Zhong, D. Real-time view recognition and event detection for sports video / D. Zhong, S. F. Chang // Journal of Visual Communication and Image Representation. – 2004. – Vol. 15 (3). – P. 330–347.

ДИАГНОСТИКА ДВИГАТЕЛЬНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОМОЩИ ЭКЗОСКЕЛЕТА

Дарануца Кристина Сергеевна, ведущий специалист центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Как известно, главной составляющей человеческого организма является скелет – часть опорно-двигательного аппарата, которая состоит из костей (костной системы). В процессе жизнедеятельности происходит «старение» скелета – новая костная ткань образуется все меньше, по сравнению со старой костной тканью, в особо тяжелых случаях может развиваться остеопороз. Однако, помимо естественного «старения» костной системы, может происходит механический износ скелета: травмы, чрезмерные нагрузки, а также заболевания.

Для решения проблем, связанных с нарушением опорно-двигательного аппарата, придумали экзоскелет – устройство, предназначенное для восполнения утраченных функций, увеличения силы мышц человека и расширения амплитуды движений за счет внешнего каркаса и приводящих частей, а также для передачи нагрузки при переносе груза через внешний каркас в опорную площадку стопы экзоскелета [1]. Экзоскелеты в медицине имеют большое значение для людей с нарушением функции ходьбы вследствие травм, заболеваний опорно-двигательного аппарата или нервной системы. Известно, что первый экзоскелет под названием “Hardiman” был разработан General Electric и ВС США в 60-х. Проект был вскоре закрыт из-за своей непрактичности. Масса данной конструкции составляла 680 кг [1]. Однако абсолютно бесспорное авторство прототипа современного экзоскелета принадлежит российскому инженеру Николаю Янг, который в конце XIX века изобрел «эластипед» (рисунок 1) [2].

«Эластипед» представлял собой систему пружин, которые закреплялись на теле человека. Данные пружины предназначены для усиления прыжков и движений человека при перемещении вверх (подъем по лестнице) [3].

Современные экзоскелеты широко применяются в реабилитации после травм опорно-двигательного аппарата, для людей с ограниченными физическими возможностями, при обучении самостоятельно вставать и ходить, а также используются в спорте.

Экзоскелеты классифицируются по следующим признакам [4]:

1. По источнику энергии и принципу работы привода (пассивные, активные).
2. По точке приложения (экзоскелет верхних конечностей, экзоскелет нижних конечностей, экзоскелет-костюм).
3. По стоимости (низкой стоимости (доступные): 1000–10 000 долларов США, средней ценовой категории: 10 000–50 000 долларов США, высокой стоимости – более 50 000 долларов США).
4. По области применения (военный, медицинский, промышленный, космический).
5. По весу конструкции (легкие – до 5 кг, средней весовой категории – от 5 до 30 кг, тяжелые – более 30 кг).

6. По количеству функций (экзоскелеты простого назначения, экзоскелеты двойного назначения, экзоскелеты с расширенными функциями).

7. По мобильности пациента (мобильные, фиксированные (стационарные)).

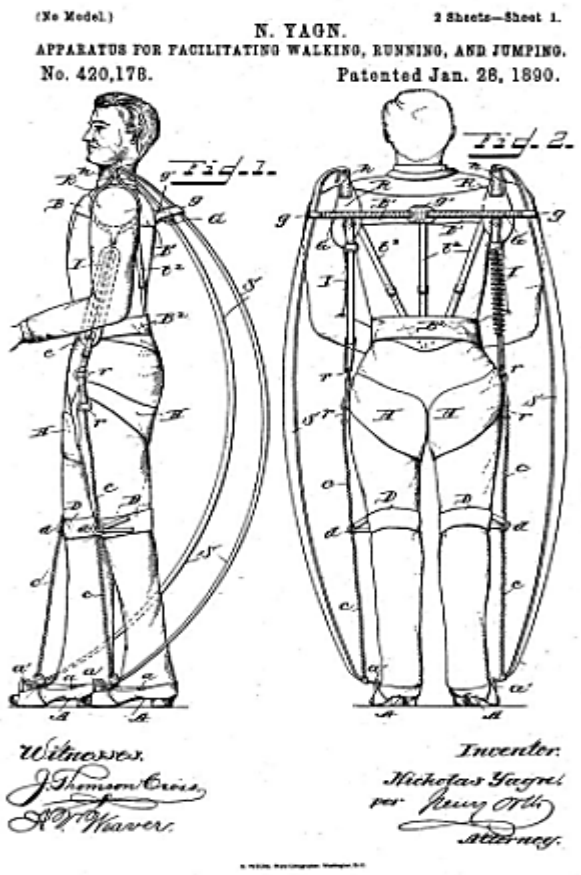

Рисунок 1. – Эластипед

Одним из современных экзоскелетов является VR-костюм, который был создан в 2019 году белорусской компанией Teslasuit (рисунок 2).

Рисунок 2. – VR-костюм Tesiasuit

Данный костюм обладает особенностями: техника «захват движений»; система считывания биометрических параметров, которая позволяет контролировать состояние стресса и усталости; система отслеживания движений тела с высокой точностью, которая позволяет передавать данные движения в виртуальную реальность, для дальнейшего моделирования ситуаций; температурный контроль; передача тактильных ощущений [5]. Назначение костюма – биометрический анализ работоспособности и показателей усталости для выявления движений, приводящих к травмам.

Существует возможность использовать VR-костюм как для диагностики двигательных способностей человека, так и в терапевтической электростимуляции [6]. В процессе диагностики спортсмену необходимо выполнить ряд мануальных тестов, с помощью которых можно оценить нарушения нейромышечных, скелетных, а также сенсорных функций. Сама оценка с автоматическим расчетом коэффициента двигательной асимметрии выполняется тренером с помощью мобильного приложения для телефонов с OS Android. Для проведения терапевтической электростимуляции в костюме встроены системы миостимуляции и анализа движений. Преимущества VR-костюма Tesiasuit:

- наличие беспроводного интерфейса программного комплекса;
- автономность и мобильность костюма;
- электростимуляция различных частей мышечного скелета или целиком всего тела [6].

Область возможного практического применения – реабилитация травм опорно-двигательного аппарата спортсменов.

В 2018 году компания Roam из Сан-Франциско создала роботизированный экзоскелет для нижних конечностей Roam Ski (рисунок 3) [7].

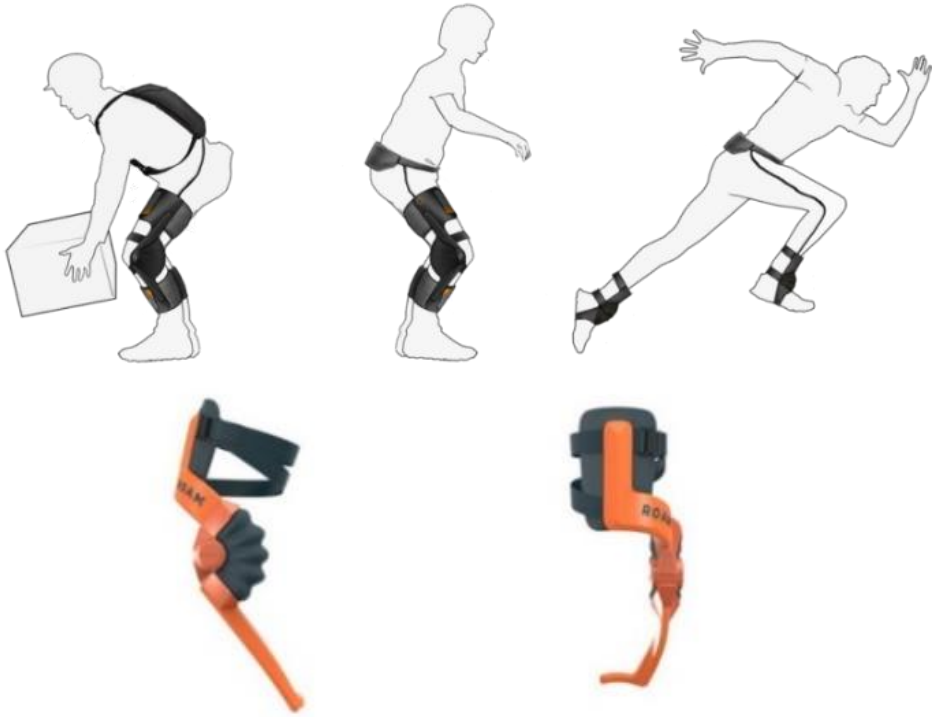

Рисунок 3. – Экзоскелет для нижних конечностей Roam Ski

Комплектация Roam Ski состоит из подтяжек, которые крепятся на бедра спортсмена, с пневматическими актуаторами (выполняют функцию амортизатора), рюкзака с блоком питания, встроенной электронной системой управления и датчиков. Данный экзоскелет используют для реабилитации конечностей после травм или на производстве, а также для спортсменов зимних видов спорта (лыжников, сноубордистов).

Преимуществами Roam Ski являются: снижение нагрузки на колени; уменьшение напряжения в мышцах и давления при прыжке; применение как для профессиальных спортсменов, так и для любителей; наличие ручного и автоматического режима работы [8].

В 2011 году российская компания ExoAtlet разработала экзоскелет для медицинского использования, который закрепляется на теле человека и конечностях, напоминая внешний скелет (рисунок 4) [2]. Экзоскелет создает опору для тела, и пациенты получают возможность вставать, садиться, ходить, подниматься и спускаться по лестницам без посторонней помощи.

Рисунок 4. – Экзоскелет ExoAtlet

Преимуществами экзоскелета ExoAtlet являются: автономность; всю нагрузку воспринимает конструкция экзоскелета; индивидуальная настройка параметров пол каждого пациента; наличие электростимуляция мышц; обширное программное обеспечение; способствование нормализации артериального давления, увеличению объема легких, повышению подвижности суставов и уменьшению риска дегенерации костных и мышечных тканей; стабилизация и поддержка голеностопного сустава [9].

Благодаря экзоскелету ExoAtlet процесс реабилитации происходит гораздо эффективнее. Экзоскелет повторяет естественный паттерн ходьбы человека, благодаря чему пациенты могут вернуться к нормальной жизни значительно быстрее. С помощью электростимуляции мышц, движения человека синхронизируются с движениями экзоскелета. Также предусмотрено программное обеспечение для своевременной коррекции движений.

Известно, что после проведения годового тестирования экзоскелета ExoAtlet пациенты, чьи возможности были ограничены из-за травмы позвоночника,

могли лежа выполнять упражнение «велосипед» и ходить, стоять и подниматься по лестнице с использованием экзоскелета без дополнительной помощи [9].

Учитывая проведенный обзор существующих конструкций, предназначенных для реабилитации опорно-двигательного аппарата, установлено, что современные экзоскелеты позволяют не только воспринимать всю нагрузку от человека и самой конструкции при ходьбе, но и производят электростимуляцию мышц, повторяют естественный паттерн ходьбы человека, а также запрограммированы на своевременную коррекцию движений.

Источники:

1. Экзоскелет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Экзоскелеты. – Дата доступа: 03.10.2020.
2. Астапкович, В. Робототехника в действии. Как изобретение русского ученого спасает людей / В. Астапкович // Сетевое издание РИА Новости / гл. ред. А. В. Гаврилова. – М., 2018.
3. Эластипед Николая Янга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://project213937.tilda.ws/page805024.html. – Дата доступа: 03.10.2020.
4. Воробьев, А. А. Терминология и классификация экзоскелетов / А. А. Воробьев // Вестник ВолгГМУ. – Волгоград, 2015. – С. 71–78.
5. «Умные» костюмы от Teslasuit протестирует крупнейший частный инвестор в энергетику Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dev.by/news/umnye-kostyumy-teslasuit-dlya-energetiki-ukrainy. – Дата доступа: 15.05.2019.
6. Лукашевич, В. А. Некоторые диагностические и терапевтические технологии интегративной медицины в спортивной практике / В. А. Лукашевич // Инновационные технологии спортивной медицины и реабилитологи : материалы мастер-класса Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 18–19 нояб. 2021 г. / Белорус. гос. ун-т физ. культуры. – Минск : БГУФК, 2021.
7. Roam представляет роботизированный экзоскелет для лыжников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://techcrunch.com/2018/03/29/roam-debuts-a-robotic-exoskeleton-for-skiers/. – Дата доступа: 30.03.2018.
8. Экзоскелеты для спортсменов // Сетевое издание CAN YOU HELP ME. – М., 2018.
9. Медицинский экзоскелет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.lrcudp.ru/methods-of-rehabilitation/the-exoskeleton. – Дата доступа: 19.06.2019.

МЕТОД ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ В ПРАКТИКЕ ТЕСТИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СПОСОБНОСТЕЙ СПОРТСМЕНОВ В ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДАХ СПОРТА

Шешко Валентина Владимировна, ведущий специалист информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

В большинстве видов спорта успех выступления в первую очередь зависит от качества техники выполнений конкретных элементов, ведь если элемент выполняется правильно и задействуются нужные в конкретной ситуации мышцы, то достигается оптимальный уровень энергозатрат, отодвигается момент наступления утомления и повышается эффективность выступления.

В процессе тренировки нервная система настраивается на использование только тех мышц, работа которых необходима для решения определенной двигательной задачи. Это взаимодействие участвующих в движении мышц или мышечных групп называется межмышечной координацией. Она всегда связана с определенным видом движения и не может переноситься с одного движения на другое. Согласованность и соразмерность включения мышц в работу обеспечивается взаимодействием мышц-агонистов, реализующих определенное движение, и мышц-антагонистов, действующих в противоположную сторону при этом движении [1].

Не имеет значения речь идет о циклических видах спорта, когда элементы однообразны и повторяются с определенной периодичностью или соревновательные выступления, где целью ставится качественное выполнение отдельных единичных и различных по своему выполнению упражнений. Знания о структуре и физиологических процессах нервно-мышечного аппарата, а также механизмах управления движениями различной координационной сложности существенно можно расширить с помощью использования метода электромиографии (ЭМГ) – метод регистрации показателей биоэлектрической активности мышц, в основе которого лежит способность мышечной ткани создавать электрическую активность при каждом сокращении [2]. Анализ этих процессов надежно характеризует потенциальные возможности спортсмена к проявлению силовых, скоростно-силовых способностей, а также развитию выносливости.

Метод электромиографии широко применяется в медицине в качестве диагностики нарушений нервно-мышечной системы, основанный на показателях биоэлектрической активности мышц, регистрируемых в состоянии покоя.

В зависимости от конкретных целей и желаемых результатов электромиография может проводиться в следующих вариантах [3]:

- интерференционная ЭМГ с использованием поверхностных электродов;
- локальная ЭМГ с помощью игольчатых коаксиальных электродов;
- стимуляционная ЭМГ, которая применяется для исследования скорости проведения моторного и сенсорного импульсов для оценки нервно-мышечной передачи.

В медицинской практике в большинстве случаев применяют игольчатые электроды при регистрации электрической активности мышц. Преимущество этого метода состоит в том, что полученной информацией является электромиограмма отдельной двигательной единицы. Это позволяет изучать частные случаи более подробно. Но в данном методе присутствуют и явные недостатки, как, например, то, что происходит травмирование мышцы при введении в нее электродов. На основе полученной информации можно сделать вывод, что вариант локальной ЭМГ является неподходящим для спортивной отрасли, когда особый интерес представляет получение информации о работе конкретных групп мышц в режиме выполнения реальных соревновательных упражнений. Таким образом, нужно создать условия, максимально приближенные к реальным, с минимальным вмешательством. В таком случае подходящим вариантом является использование интерференционной ЭМГ. С ходом времени данный метод совершенствовался, а также проводилась активная работа по оптимизации используемого оборудования. Таким образом, на сегодняшний день, американская компания Delsys [4] – мировой лидер в дизайне, производстве и продаже продуктов высокой производительности инструментов для электромиографии – разработала продукт, включающий в себя широкий спектр физических и биомеханических датчиков, которые используются для изучения всех человеческих движений. Один комплект состоит из 16 беспроводных датчиков Tringo Avanti Sensor (рисунок 1), размером менее 4 см в длину, 3 см – в ширину и менее 2 см в толщину, а также массой 14 г.

Рисунок 1. – Комплект датчиков Tringo Avanti Sensor

Датчики крепятся на наиболее значимые группы мышц для конкретной ситуации (выполнение определенного упражнения) посредством клейких пластин, избегая области вокруг электродов, предоставляя им тесный контакт с кожным покровом спортсмена (при выполнении многократных высокоамплитудных движений датчики для надежности дополнительно фиксируются эластичной лентой). Расположение датчика на теле может быть разнообразным, стоит только учитывать, что межэлектродное расстояние позволяет захватывать наиболее крупные мышцы (так, например, проводить исследование с участием фаланг пальцев, в данном случае будет нецелесообразным) и второй момент – располагать датчик следует только вдоль направления растяжения мышц. Радиус действия датчиков достаточно широк и достигает расстояния 40 м до базы.

С помощью возможностей Wi-Fi и Bluetooth система двойных целей Tringo Research+ позволяет записать данные движения, полученные от ЭМГ сенсоров где и когда угодно. Использование этих способностей делает систему идеальным инструментом для использования как в научных, так и в мобильных клинических исследованиях.

Высокопроизводительная беспроводная система Tringo создана, чтобы сделать исследование ЭМГ-сигнала легким и доступным. Система способна передавать данные в цифровом виде в EMGworks®, стороннее ПО или через аналоговые выходы для интеграции с системами захвата движения и других сторонних систем сбора данных. Полные функции запуска дополнительно расширяют возможности интеграции дополнительных измерительных технологий [4].

Продолжая тему циклических видов спорта, визуально не всегда становится заметно, что движение выполняется неправильно (если задействуются некорректные группы мышц или корректные, но с недостаточной амплитудой или идет непопадание во времени). А ведь если необходимая мышца не выполняет должное усилие, то для того, чтобы выполнить движение, в работу включаются другие мышцы, это приводит к быстрому наступлению ощущения усталости или к травмированию, потому как при обучении двигательному действию в теории уже предусматривается наиболее оптимальный вариант включения мышц для долгой и качественной с технической точки зрения работы.

При работе с данной системой из программного обеспечения можно извлечь файлы, которые представляют собой график активности каждой заданной мышцы на протяжении всего времени выполнения теста. Так, можно наблюдать, как изменялось распределение мышечных усилий с ходом времени, и соответствует ли движение эталонному исполнению, а также как спортсмен справляется с задачей на фоне утомления. Помимо данных функций у ПО Delsys есть следующие возможности [4]:

- регистрация поверхностных электромиограмм;
- комплект инструментов для разработки программного обеспечения;
- компьютерный анализ поверхностных электромиограмм;
- встроенная интегральная база данных;
- проверка качества сигнала;
- редактор планов сценария; шаблон заданий;
- синхронизация данных в одновременном анализе электромиограмм, видеоизображения и давления при опорных взаимодействиях;
- вывод гистограммы;
- анализ работы мышц при выполнении двигательных действий;
- максимальное мышечное сокращение; анализ амплитуды;
- изучение положения тела в пространстве;
- измерение мышечных усилий; регуляция мышечных усилий;
- анализ стабильности выполнения циклических двигательных действий;
- анализ временных отрезков; биологическая обратная связь.

Благодаря полученной информации возможно формировать индивидуальные протоколы для каждого спортсмена, в которых можно получить информацию, например, о вкладе в работу каждой группы мышц, либо делать выводы о симметричности работы левой и правой сторон организма (рисунок 2), а также о времени включения мышц в работу (рисунок 3), ведь, как было отмечено вначале, стоит стремиться к согласованности и соразмерности включения мышц в работу.

Мышцы	Тест 1	Тест 2	Тест 3
	Вклад в работу, %	Вклад в работу, %	Вклад в работу, %
Бицепс плеча (Пр)	9,66	9,33	9,54
Бицепс плеча (Л)	10,75	10,27	10,60
Прямая живота (Пр)	6,82	7,95	7,59
Прямая живота (Л)	6,48	7,93	8,23
Прямая бедра (Пр)	3,59	3,40	3,07
Прямая бедра (Л)	3,98	3,68	3,28
Вастус бедра (Пр)	4,09	3,97	3,78
Вастус бедра (Л)	4,99	4,94	4,64
Дельтовидная ЗП (Пр)	6,78	6,91	6,46
Дельтовидная ЗП (Л)	7,46	7,99	7,54
Трапеция (Пр)	5,32	5,08	5,02
Трапеция (Л)	6,50	5,98	7,03
Шир. спины (Пр)	5,50	5,14	5,46
Шир. спины (Л)	6,03	5,62	5,88
Разгибатель спины (Пр)	5,47	5,45	5,31
Разгибатель спины (Л)	6,57	6,38	6,57
Aср, мкВ	232,3	255,0	288,2

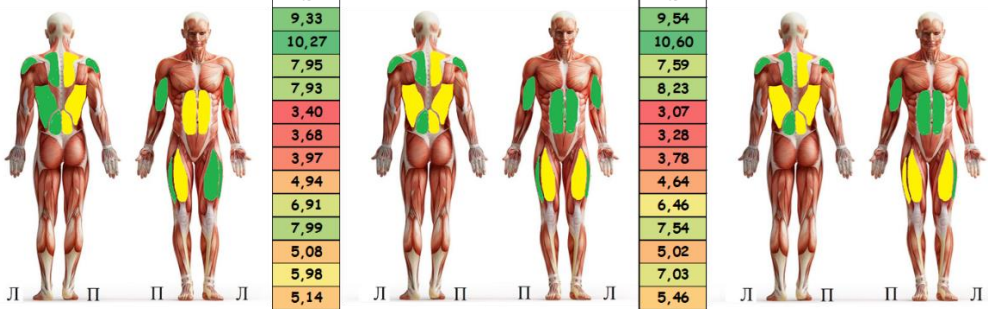

Рисунок 2. – Оценка скоростно-силовой подготовленности спортсменки при выполнении тестовых заданий на гребном эргометре

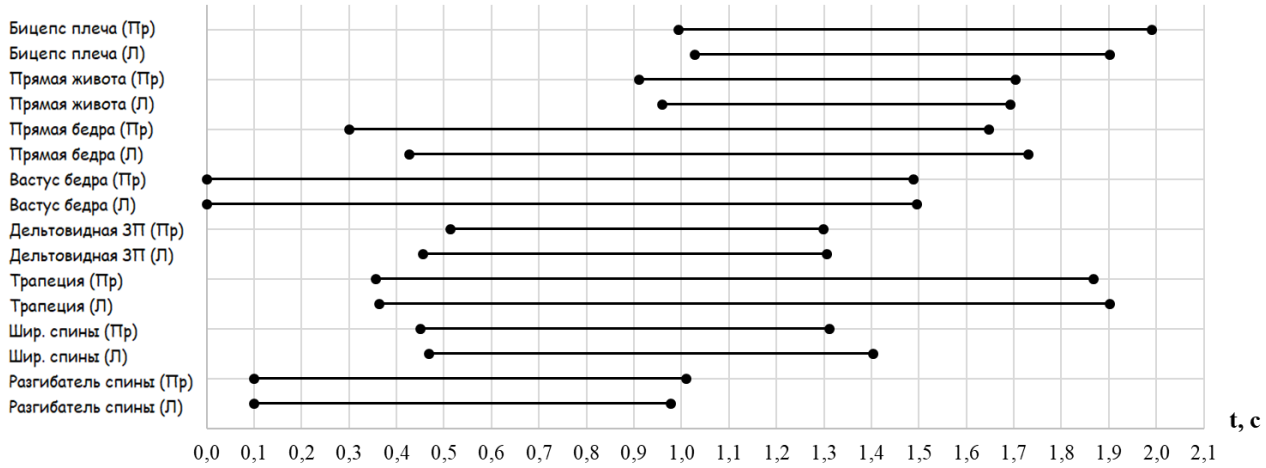

Рисунок 3. – Последовательность включения мышц в работу спортсменки при выполнении тестового задания на гребном эргометре

Таким образом, анализ техники двигательных действий (а именно ее рациональность, экономичность и помехоустойчивость) позволяют выявлять доминирующие двигательные способности и координировать мышечные усилия спортсмена при выполнении соревновательного упражнения на основании данных электромиографии, акселерометрии или гироскопии. Все это может помочь тренерам определить сильные и слабые стороны подготовленности спортсмена, скорректировать программы тренировочных заданий для устранения ошибок в технике выполнения упражнений [5].

Источники:

1. Бернштейн, Н. А. Биомеханика и физиология движений: избранные психологические труды / Н. А. Бернштейн ; под ред. В. П. Зинченко. – 2-е изд. – Воронеж : НПО «Модэк», 2004. – 688 с.

2. Электромиография (ЭМГ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://yusupovs.com/articles/issledovaniya/elektromiografiya-emg/. – Дата доступа: 05.12.2022.

3. Команцев, В. Н. Методические основы клинической электронейромиографии : рук-во для врачей / В. Н. Команцев. – СПб., 2006. – 349 с.

4. Discover Beautiful EMG. Discover Delsys [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://delsys.com. – Дата доступа: 06.12.2022.

5. Мобильные многоканальные ЭМГ-системы в оценке подготовленности спортсменов : монография / Н. А. Парамонова [и др.] ; под ред. В. Е. Васюка. – Минск, 2022. – 136 с.

ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И НОСИМЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ СПОРТСМЕНОВ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Жоау Пассос[1], Сержиу Иван Лопес[1,2], Филипе Мануэль Клементе[3,4], Педру Мигель Морейра[1], Маркел Рико-Гонзалез[5], Педру Безерра[3,6], Луис Паулу Родригеш[3,6]
[1]ADiT-LAB, Политехнический институт Виана-ду-Каштелу, улица Промышленной и коммерческой школы Нун'Альварес, 4900-347 Виана-ду-Каштелу, Португалия;
[2]IT – Институт телекоммуникаций, Университетский городок Сантьяго, 3810-193 Авейру, Португалия;
[3]Высшая школа спорта и досуга, Политехнический институт Виана-ду-Каштелу, улица Индустриальная и коммерческая школа Нун'Альварес, 4900-347 Виана-ду-Каштелу, Португалия;
[4]Институт телекоммуникаций, отделение Ковильян, 1049-001 Лиссабон, Португалия;
[5]Кафедра физического воспитания и спорта, Университет Страны Басков, UPV-EHU, Lasarte 71, 01007 Vitoria-Gasteiz, Испания;
[6]Исследовательский центр по спортивным наукам, здравоохранению и развитию человека, CIDESD, 5000-801 Vila Real, Португалия

WEARABLES AND INTERNET OF THINGS (IoT) TECHNOLOGIES FOR FITNESS ASSESSMENT: A SYSTEMATIC REVIEW

João Passos[1], Sérgio Ivan Lopes[1,2], Filipe Manuel Clemente[3,4], Pedro Miguel Moreira[1], Markel Rico-González[5], Pedro Bezerra[3,6], Luís Paulo Rodrigues[3,6]
[1]ADiT-LAB, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Rua Escola Industrial e Comercial Nun'Álvares, 4900-347 Viana do Castelo, Portugal;
[2] IT—Instituto de Telecomunicações, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal;
[3]Escola Superior Desporto e Lazer, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Rua Escola Industrial e Comercial de Nun'Álvares, 4900-347 Viana do Castelo, Portugal;
[4]Instituto de Telecomunicações, Delegação da Covilhã, 1049-001 Lisboa, Portugal;
[5]Department of Physical Education and Sport, University of the Basque Country, UPV-EHU, Lasarte 71, 01007 Vitoria-Gasteiz, Spain;
[6]Research Center in Sports Sciences, Health Sciences and Human Development, CIDESD, 5000-801 Vila Real, Portugal

Аннотация. Применение технологий носимых устройств и Интернета вещей (IoT) в спорте открывает новую эру в подготовке спортсменов, которая касается не только мониторинга и оценки результативности, но и оценки физического состояния.

Справочно. Интернет вещей (internet of things, IoT) – концепция сети передачи данных между физическими объектами («вещами»), оснащенными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой.

Эти технологии основаны на сенсорных системах, которые собирают, обрабатывают и передают соответствующие данные, такие как биомаркеры и/или другие показатели эффективности, имеющие решающее значение для оценки эволюции состояния спортсмена и, следовательно, повышают его эффективность. Цель данной работы – выявление и обобщение новейших исследований с применением носимых устройства и технологий Интернета вещей, а также обсуждение их применимости для оценки физического состояния (пригодности) спортсмена. Систематический обзор электронных баз данных (WOS, CCC, DIIDW, KJD, MEDLINE, RSCI, SCIELO, IEEEXplore, PubMed, SPORTDiscus, Cochrane и Web of Science) был проведен в соответствии с руководством «Предпочтительные элементы отчетности для систематических обзоров и метаанализов» (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses, PRISMA). Из 280 первоначально выявленных исследований 20 были полностью изучены с точки зрения аппаратного и программного обеспечения и их применимости для оценки уровня подготовленности спортсменов. Результаты показали, что носимые и IoT-технологии используются в спорте не только для оценки подготовленности, но и для мониторинга внутренних и внешних нагрузок спортсмена, используя методы мониторинга физиологического статуса, распознавания и отслеживания активности спортсмена. Однако уровень применимости подобных технологий остается по-прежнему низким, особенно в связи с необходимостью мониторинга все большего количества эффективных биомаркеров для оценки внутренней нагрузки спортсмена, что ограничивает их более широкое принятие спортивным сообществом.

Ключевые слова: носимые устройства; умные носимые устройства; IoT (Интернет вещей); IoT (Интернет вещей) в спорте; оценка уровня подготовленности.

1. Введение

Концепция Интернета вещей (IoT) появилась еще в 1990 году, когда первое периферийное оборудование, компьютер типа Макинтош, было подключено к интернету, чтобы обеспечить его дистанционное управление [1]. Если в те времена подключение к интернету было новинкой, то 30 лет спустя термин «Интернет вещей» представляет собой огромную экосистему, которая далеко вышла за рамки простого подключения к устройству, включая ряд технологий (коммуникации, вычисления, управление, взаимодействие) в нескольких областях применения, таких как здравоохранение, автоматизация, промышленность и сельское хозяйство, а также в спорте, где уже проводятся исследования [2–5], и инновационные технологии развивают всю спортивную отрасль [6].

Привнесение Интернета вещей в спорт открывает новую эру в подготовке спортсменов не только для мониторинга/оценки результативности, но и для оценки подготовленности [2]. Как правило, это достигается путем включения носимых технологий IoT, которые основаны на сенсорных системах для сбора, обработки и передачи информации, такой как биомаркеры и/или другие соответствующие показатели, которые могут использоваться для оценки работоспособности спортсмена и динамики его физических и медицинских показателей.

В частности, применение возможностей Интернета вещей в спорте и фитнесе позволило упростить процессы сбора данных с использованием носимых устройств, которые позволяют быстрее и эффективнее совершенствовать систему

тренировки спортсмена. Эти устройства спортсмены носят в виде одежды или аксессуаров, состоящих из датчиков, микропроцессора и блока связи, обеспечивающего возможность подключения в пределах персональной сети (personal area network, PAN), где смартфон играет центральную роль не только для хранения и обработки данных, но и для работы в качестве межсетевого шлюза, расширяя возможности носимых устройств при подключении к интернету.

Применение биомаркеров в спорте и фитнесе позволяет использовать специфические характеристики, которые измеряются и используются в качестве индикатора нормальных и патологических биологических процессов, а также физиологических реакций на конкретное внешнее воздействие или применение нагрузки. Существует несколько подтипов биомаркеров, которые можно определить как идентичность, биологическую вероятность и метод ее измерения [7]. В этом смысле технологии Интернета вещей облегчают сбор, обработку, коммуникацию и хранение указанных биомаркеров, расширяя возможности цифровой трансформации в спорте и фитнесе и делая цифровые биомаркеры более объективными благодаря их существованию в реальном времени, реальной применимости и доступности данных [8]. Биомаркеры часто собираются носимыми устройствами и агрегируются (группируются) смартфонами, и, учитывая последние достижения в области машинного обучения и искусственного интеллекта (ИИ), появляются новые пути получения информации из данных биомаркеров, подводящие исследования и технологии к новой эре методов оценки в спорте и фитнесе [8].

Оценка подготовленности и мониторинг тренировочной нагрузки стали популярной темой исследований в спортивных науках [9–11]. Эти направления помогают тренерам лучше определить физический статус спортсмена, а также оценить функциональные адаптации, происходящие с течением времени [12, 13]. В то время как оценка подготовленности представляет собой фиксацию момента во времени (картину), то процесс мониторинга происходит в процессе тренировки и в течение всего периода подготовки. Обычно оценка уровня подготовленности спортсменов охватывает основные физические способности, а именно аэробную способность (также известную как кардиореспираторная выносливость), силу, мощность, скорость, реакцию на изменение направления и подвижность [14]. Кроме того, антропометрические и постуральные оценки также входят в полный перечень показателей подготовленности спортсменов [15].

Что касается мониторинга спортсменов, то, как правило, охватываются четыре основные области [16]: (i) внутренняя нагрузка, (ii) внешняя нагрузка, (iii) состояние здоровья и (iv) готовность. Внутренняя нагрузка представляет собой психофизиологические реакции на данную внешнюю нагрузку, а внешняя нагрузка представляет собой физические требования, связанные с определенным стимулом, предлагаемым тренером [17]. Внутренние нагрузки обычно контролируются показателями поглощения кислорода, концентрации лактата в крови, частоты сердечных сокращений или оценки воспринимаемой нагрузки (rate of perceived exertion, RPE) [18]. Внешние нагрузки контролируются с помощью глобальных навигационных спутниковых систем, инерциальных из-

мерительных блоков (inertial measurement units, IMU) [19] или линейных преобразователей, которые обеспечивают измерения расстояний, пройденных с различными порогами скорости, ускорениями/замедлениями и изменениями направления движения [20]. Состояние здоровья контролируется с использованием субъективных шкал оценки уровня усталости, стресса, качества сна, задержки наступления мышечной боли или (плохого) настроения. Качество сна также можно измерить с помощью акселерометрии [21]. Подготовленность оценивают с помощью вариабельности сердечного ритма, скорости восстановления сердечного ритма, различных нервно-мышечных тестов (с использованием силовых пластин или контактных платформ) или тестов с выполнением максимальных усилий (например, езда на велосипеде или спринтерский бег) [22, 23].

Современные носимые устройства и IoT-технологии используются в спорте для мониторинга как внутренней, так и внешней нагрузки спортсменов. Тем не менее, все еще есть необходимость в получении большей информации о внутренней нагрузке спортсмена, которая имеет решающее значение для корректировки тренировок и повышения результативности спортсмена. Например, возможность неинвазивного и непрерывного мониторинга физиологических биомаркеров, таких как слюна или пот, позволяет оптимально регулировать гидратацию, повышая общую работоспособность спортсмена [24]. Кроме того, использование таких технологий открывает новые возможности для понимания [25–30] и отслеживания функциональных особенностей деятельности спортсмена [31–34].

Оба процесса, оценка подготовленности и мониторинг функционального состояния спортсменов, предоставляют большой объем данных об эффективности используемых программ подготовки. При этом важен способ объединения и экспорта полученных данных для осуществления процесса извлечения информации и отчетности (анализа).

Таким образом, учитывая важность носимых устройств и технологий Интернета вещей для оценки подготовленности, вклад данного систематического обзора состоит в следующем: (i) выявление и обобщение исследований, в которых использовались носимые устройства и технологии Интернета вещей для оценки подготовленности спортсменов, и (ii) обсуждение представленных исследований с точки зрения применимости используемых технологий в спортивной практике.

2. Материалы и методы

2.1. Критерии приемлемости

Протокол поиска был осуществлен для выявления потенциально релевантных исследований, которые состояли из оценки названия, аннотации и списка литературы каждого исследования. Критерии включения и исключения показаны в таблице 1.

Таблица 1. – Критерии приемлемости

Критерии включения	Критерии исключения
Применение носимых и IoT-технологий для оценки подготовленности (оценка состояния кардиореспираторной системы, нервно-мышечного статуса, равновесия, спринтерского бега и реакции на изменение направления, массы или компонентного состава тела) и мониторинга здоровья спортсменов или по видам спорта (например, ЧСС, качество сна)	Применение носимых устройств и IoT в других видах деятельности человека, не связанных с оценкой подготовленности или мониторингом здоровья спортсменов (например, мониторинг системы здравоохранения, мониторинг благосостояния, не связанный со спортом, клинических пациентов, медицинских устройств)
Только оригинальные и полнотекстовые исследования, написанные на английском языке	Написана на языке, отличном от английского. Другие типы статей, кроме оригинальных (например, обзоры, письма редакторам, регистрации испытаний, предложения по ведению протоколов, редакционные статьи, главы книг и тезисы конференций)
	Исследования должны указывать аппаратное и программное обеспечение носимого/IoT-устройства и включать принятый метод оценки подготовленности

2.2. Источники информации и поиск

Поиск научных статей осуществлялся по нескольким базам данных (WOS, CCC, DIIDW, KJD, MEDLINE, RSCI, SCIELO, IEEEXplore, PubMed, SPORTDiscus, Cochrane и Web of Science) с использованием ключевых слов и синонимов в разных сочетаниях. Кроме того, списки ссылок выбранных исследований были проверены вручную для выявления потенциально приемлемых работ, не найденных во время поиска в электронных базах данных.

2.3. Извлечение данных

Электронная таблица была подготовлена для извлечения данных в соответствии с рекомендациями Cochrane Consumers and Communication Review Group [36]. Таблица была использована для определения соответствия критериям включения или исключения из списка отобранных работ.

2.4. Элементы данных

В анализе, проведенном по выбранным статьям, были извлечены следующие элементы данных: тип построения исследования, количество участников (N), возрастная группа (среднее ± SD), пол (мужчина, женщина или представители обоих полов), протокол проведения эксперимента и вид упражнений; характеристики носимого устройства (датчики, исполнительные механизмы, микроконтроллер, процессор, топология сети), (iii) характеристики программных средств (программное обеспечение, алгоритмы ML, механизмы IA).

2.5. Методологическая оценка

Оценка STROBE применялась для выявления методологической предвзятости приемлемых статей после адаптации O'Reilly et al. [37]. Каждая из включенных статей оценивалась по десяти пунктам [37]. Оценка была проведена

независимо, и в случае разногласий проводилось обсуждение и принималось консенсусное решение. Каждое исследование получало качественную оценку в соответствии с Методикой O'Reilly et al. [37]: от 0 до 6 баллов исследование рассматривалось с риском смещения (низкое качество), а от 7 до 10 баллов – как имеющее низкий риск смещения (высокое качество).

3. Результаты

Этот раздел содержит четыре подраздела, которые включают идентификацию и отбор исследования; оценку методологического качества; определение индивидуальных характеристик исследований; и, наконец, извлечение окончательных результатов отдельных исследований.

3.1. Методологическое качество

Методологическая оценка показала, что семь (35 %) статей имели низкое общее качество, в то время как 13 (65 %) имели высокое качество.

3.2. Характеристики индивидуальных исследований

После обзора включенных исследований была собрана информация, касающаяся носимого/IoT-устройства (датчики, процессоры, память и т. д.), используемого программного обеспечения, алгоритмов машинного обучения и, наконец, метода оценки подготовленности, используемого в каждом исследовании. Из представленных устройств наибольшее количество исследований использовало напульсник, в то время как остальные исследования описывали применение таких носимых предметов, как перчатки, футболки, часы, пояс, эластичный ремень на грудь или голень. Всего четыре исследования представили коммерческие устройства. Из исследований, в которых использовались алгоритмы машинного обучения (Machine Learning, ML), девять использовали Support Vector Machine, четыре – сверточную нейронную сеть (Convolutional Neural Network, CNN), еще четыре – дерево решений (Decision Tree), а оставшееся четыре исследования использовали K-Nearest Neighbor. Ряд исследований использовали более одного алгоритма. Более подробная информация о характеристиках исследований представлена в таблице 2.

Справочно. Сверточная нейронная сеть (Convolutional neural network, CNN, ConvNet) – класс глубоких нейронных сетей, часто применяемый в анализе визуальных образов для распознавания изображений и видео, классификации изображений и анализе временных рядов.

Дерево принятия решений (Decision Tree, дерево классификации или регрессионное дерев) – средство поддержки принятия решений, использующееся в машинном обучении, анализе данных и статистике. Структура дерева представляет собой «листья» и «ветки», при этом на ребрах («ветках») дерева решения записаны признаки, от которых зависит целевая функция, в «листьях» записаны значения целевой функции, а в остальных узлах – признаки, по которым различаются случаи.

Метод k-ближайших соседей (K-Nearest Neighbor) – метрический алгоритм для автоматической классификации объектов или регрессии. В случае использования метода для классификации объект присваивается тому классу, который является наиболее распространенным среди k-соседей данного элемента, классы которых уже известны.

Таблица 2. – Характеристики исследования

Barricelli et al. (2020) [39]	Akpa et al. (2019) [38]	Исследование	Носимые устройства
Напульсник FitBit Charge HR	Перчатка	Тип устройства	
Промышленный	Протип	Промышленный/ прототип	
n.d.	Силовой резистор	Датчики/ актуаторы	
n.d.	MCU Adafruit Feather Processor: Atmega 32u4 Memory: 32 kB Flash 2 kB RAM	Процессор/ память/DevBoard	
n.d.	BLE	Протоколы связи	
P2P	Star	Топология сети	
n.d.	6 ч	Автономность	
Офлайн	Офлайн	Онлайн/офлайн	
ЧСС; кол-во шагов в день; физическая активность; сон	Распределение давления кисти руки	Биомаркеры	
ML классификаторы: svm-based; knn based	Алгоритмы: Дерево решений SVM k-NN	Метод анализа/ML/AI	Инструменты программного обеспечения (граничные/облачные вычисления)
n.d.	UI для отображения	Программное	
Футбол, силовая подготовка и тренировка на выносливость	Отжимания от скамьи; Альпинист; Сгибание рук с гантелями; Подтягивание колен; Подтягивание колен со скручиванием	Вид физической нагрузки	Оценка подготовленности
3-дневн. измерения/ 1 тренировочная сессия на 3-й день	1-часовая сессия 10 упражнений по 3 подхода/отдых 1–2 мин	Протокол эксперимента	
N=10; пол: муж.; возраст: 19	N=10; пол: оба; возраст: 25,9±3,21	Обследуемые кол-во/пол/ возраст	

Продолжение таблицы 2

Guo et al. (2019) [41]	Brueck et al. (2018) [40]	Исследование	Носимые устройства
Напульсник	Напульсник	Тип устройства	
Прототип	Прототип	Промышленный/ прототип	
PPG сенсор	Калориметрический датчик расхода w/a Коллектор пота Macroduct	Датчики/ актуаторы	
n.d.	Процессор: 32-bit ARM Cortex-M0 Память: 128 kB Flash 24 kB RAM DevBoard: Raspberry Pi	Процессор/ память/DevBoard	
Bluetooth	BLE	Протоколы связи	
Star	Star	Топология сети	
n.d.	n.d.	Автономность	
Онлайн	Оба	Онлайн/офлайн	
ЧСС; Насыщение крови кислородом	Пот	Биомаркеры	
Оптимизированный алгоритм классификации на основе XGBoost; k-nearest neighbor; Дерево решений SVM Random Forest; Дерево решений Gradient boosting	n.d.	Метод анализа/ML/AI	Инструменты программного обеспечения (граничные/облачные вычисления)
n.d.	ThingSpeak Cloud	Программное	
Бег Мальчики: 1000 м Девочки: 800 м	Велоспорт	Вид физической нагрузки	Оценка подготовленности
3-мин. беговая разминка; бег; 2-мин. восстановление	80 % HR_{max} 18–30 мин	Протокол эксперимента	
N=513; пол: оба; возраст: 14	N=5; пол: оба; возраст: n.d.	Обследуемые кол-во/пол/ возраст	

Продолжение таблицы 2

Hutnh-The et al. (2020) [43]	Huang et al. (2018) [42]	Исследование	Носимые устройства
n.d.	Эластичный пояс на голень	Тип устройства	
Прототип	Прототип	Промышленный/ прототип	
Инерционный датчик	Датчик движения	Датчики/ актуаторы	
AMD CPU 3.7-GHz 16 GB RAM NVIDIA GTX 1080Ti	n.d.	Процессор/ память/DevBoard	
n.d.	Беспроводной	Протоколы связи	
P2P	P2P	Топология сети	
n.d.	Носимый автономный	Автономность	
Офлайн	Офлайн	Онлайн/офлайн	
Осанка и кинематика человека	Трибоэлектризация статическое электричество	Биомаркеры	
CNN SVM	Алгоритмы: SVM Logistic Regression	Метод анализа/ML/AI	Инструменты программного обеспечения (граничные/облачные вычисления)
Matlab	n.d.	Программное	
Misc.	Стоя или сидя, при ходьбе, подъем или спуск по лестнице или бег	Вид физической нагрузки	Оценка подготовленности
3 набора данных: ежедневная и спортивная активность; ежедневная деятельность; реальный мир	5 сетов: сидя или стоя; при ходьбе; подъем; спуск; бег	Протокол эксперимента	
N=19; пол: оба; возраст: n.d.	N=3; пол: n.d.; возраст: n.d.	Обследуемые кол-во/пол/ возраст	

Продолжение таблицы 2

Munoz-Organero (2019) [45]	Municio et al. (2019) [44]	Исследование	Носимые устройства
Эластичный ремень	Велосипед	Тип устройства	
Прототип	Прототип	Промышленный/ прототип	
Трехосевой акселерометр	GNSS (GPS) Датчик скорости Датчик ЧСС	Датчики/ актуаторы	
n.d.	CC2538: 6TiSCH connectivity nRF52: датчик сбора данных	Процессор/ память/DevBoard	
n.d.	6LoWPAN BLE SPI	Протоколы связи	
n.d.	Mesh network	Топология сети	
n.d.	n.d.	Автономность	
Офлайн	Онлайн	Онлайн/офлайн	
Кинематика человека	ЧСС Скорость	Биомаркеры	
Алгоритм: CNN	n.d.	Метод анализа/ML/AI	Инструменты программного обеспечения (граничные/облачные вычисления)
n.d.	n.d.	Программное	
Восхождение по лестнице; прыжки; в положении лежа; стоя; сидя; бег; ходьба	Велоспорт	Вид физической нагрузки	Оценка подготовленности
Каждое упражнение выполнялось в течение 10 мин (кроме прыжков)	Первые 17 мин нагрузки	Протокол эксперимента	
N=15; пол: оба; возраст: 31,9±12,4	N=17; пол: оба; возраст: n.d.	Обследуемые кол-во/пол/ возраст	

Продолжение таблицы 2

Roslan & Ahmad (2020) [47]	Qi et al. (2019) [46]	Исследование	Носимые устройства
Смарт-часы	Эластичный ремень на грудь Напульсник	Тип устройства	
Прототип	Промышленный	Промышленный/ прототип	
GNSS (GPS) Силовой датчик Вибродвигатель	Shimmer3	Датчики/ актуаторы	
MCU n.d.	n.d.	Процессор/ память/DevBoard	
Wi-Fi	Bluetooth	Протоколы связи	
Star	P2P	Топология сети	
n.d.	n.d.	Автономность	
Онлайн	Офлайн	Онлайн/офлайн	
Прыжок Сила и скорость	Ускорение ЧСС	Биомаркеры	
OpenHAB	Двухуровневое распознавание Первый уровень: SVM	Метод анализа/ML/AI	Инструменты программного обеспечения (граничные/облачные вычисления)
myOpenHAB	n.d.	Программное	
Прыжок в высоту	Аэробные; свободный вес; осанка	Вид физической нагрузки	Оценка подготовленности
n.d.	Аэробные и осанка: – 5 мин каждое; – 3 сета Свободный вес; – 12 сетов	Протокол эксперимента	
n.d.	N=10; пол: оба; возраст: 30±5	Обследуемые кол-во/пол/ возраст	

Продолжение таблицы 2

Wang et al. (2018) [49]	Sun et al. (2019) [48]	Исследование	Носимые устройства
Напульсник	Смартфон Спортивный пояс	Тип устройства	
Прототип	Прототип	Промышленный/ прототип	
Трехосевой акселерометр Трехосевой гироскоп Камера Basler acA2000	Акселерометр; Гироскоп; Датчик глубины	Датчики/ актуаторы	
Smart Bond DA14583 Процессор: Cortex M0 Memory 1 MB Flash	x-OSC	Процессор/ память/DevBoard	
BLE Wi-Fi	Wi-Fi	Протоколы связи	
Star	P2P	Топология сети	
n.d.	n.d.	Автономность	
Онлайн	Онлайн	Онлайн/офлайн	
Кинематика человека	Кинематика человека	Биомаркеры	
ML: SVM Основной компонент Анализ	Долгая краткосрочная память (LSTM) SVM	Метод анализа/ML/AI	Инструменты программного обеспечения (граничные/облачные вычисления)
Программная платформа Evothings Cordova	Microsoft Kinect SDK	Программное	
Ракеточные виды спорта	Бейсбол: поведение на поле; разминка вне поля; повседневное поведение	Вид физической нагрузки	Оценка подготовленности
20 мин разминка; 20 ударов по мячу (смэш); 20 short clears; 20 long clears	n.d.	Протокол эксперимента	
N=12; пол: муж.; возраст: n.d.	n.d.	Обследуемые кол-во/пол/ возраст	

Продолжение таблицы 2

Носимые устройства										Инструменты программного обеспечения (граничные/облачные вычисления)		Оценка подготовленности		
Исследование	Тип устройства	Промышленный/ прототип	Датчики/ актуаторы	Процессор/ память/DevBoard	Протоколы связи	Топология сети	Автономность	Онлайн/офлайн	Биомаркеры	Метод анализа/ML/AI	Программное	Вид физической нагрузки	Протокол эксперимента	Обследуемые кол-во/пол/ возраст
Wang & Gao (2020) [50]	Майка	Прототип	ECG датчик ЧСС	Arduino UNO	Wi-Fi	Star	n.d.	Онлайн	ЧСС	Radial-basis function net-work Probabilistic neural network	n.d.	Волейбол	N/A	N=100; пол: n.d.; возраст: n.d.
Wilkerson et al. (2018) [51]	Эластичный ремень на грудь	Прототип	n.d.	Смартфон	Беспроводной	P2P	n.d.	n.d.	Осанка человека	n.d.	n.d.	Односторонний присед с опорой на переднюю часть стопы	Тест присед на одной ноге без опоры	N=45; пол: n.d.; возраст: 20±1,5

Продолжение таблицы 2

Xiao et al. (2020) [53]	Xia et al. (2020) [52]	Исследование	Носимые устройства
Напульсник	Напульсник	Тип устройства	
Прототип	Прототип	Промышленный/ прототип	
Датчик пульса (photoeletric)	MPU6050: Трехосевой акселерометр Трехосевой гироскоп	Датчики/ актуаторы	
ARM processor	STM32F103 ARM Cortex M3	Процессор/ память/DevBoard	
Bluetooth HTTP ZigBee	BLE	Протоколы связи	
Star	Mesh	Топология сети	
n.d.	n.d.	Автономность	
Онлайн	Онлайн	Онлайн/офлайн	
ЧСС	Кинематика человека	Биомаркеры	
DT algorithm MT algoruthm	Алгоритмы: ASMV, VSMV, DSMV K-means Clustering Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN)	Метод анализа/ML/AI	Инструменты программного обеспечения (граничные/облачные вычисления)
Android APP Web APP Matlab	Mobile APP LiteOS	Программное	
n.d.	Настольный теннис Бадминтон Ходьба	Вид физической нагрузки	Оценка подготовленности
ЭКГ стимуляция через Matlab	4 типа движений в теннисе; 4 типа движений в бадминтоне; 20 тестов на каждое движение	Протокол эксперимента	
n.d.	N=5; пол: оба; возраст: 25±5	Обследуемые кол-во/пол/ возраст	

Продолжение таблицы 2

Zhao et al. (2020) [56]	Zhang et al. (2019) [54]	Исследование	Носимые устройства
n.d.	Смарт-часы	Тип устройства	
Прототип	Промышленный	Промышленный/ прототип	
GNSS (GPS) Температура ЧСС	Инерционный датчик	Датчики/ актуаторы	
Arduino Mini MCU LinkIt Smart 7688	n.d.	Процессор/ память/DevBoard	
4G mobile Wi-Fi	Bluetooth Wi-Fi	Протоколы связи	
Mesh	P2P	Топология сети	
n.d.	n.d.	Автономность	
Онлайн	Офлайн	Онлайн/офлайн	
Физиологический статус	Кинематика человека	Биомаркеры	
Алгоритм: Kalman Filter	Модель распознавания: К-ближайший сосед Support Vector Machine Naive Bayes Logistic Regression Дерево решений Random Forest CNN	Метод анализа/ML/AI	Инструменты программного обеспечения (граничные/облачные вычисления)
MediaTek Cloud	PyCharm scikitlearn TensorFlow	Программное	
Пеший туризм	Настольный теннис	Вид физической нагрузки	Оценка подготовленности
Походный маршрут 2,1 км	Игры в настольный теннис	Протокол эксперимента	
N=1; пол: муж.; возраст: 26	N=12; пол: оба	Обследуемые кол-во/пол/ возраст	

Окончание таблицы 2

Носимые устройства										Инструменты программного обеспечения (граничные/облачные вычисления)		Оценка подготовленности		
Исследование	Тип устройства	Промышленный/ прототип	Датчики/ актуаторы	Процессор/ память/DevBoard	Протоколы связи	Топология сети	Автономность	Онлайн/офлайн	Биомаркеры	Метод анализа/ML/AI	Программное	Вид физической нагрузки	Протокол эксперимента	Обследуемые кол-во/пол/ возраст
Zou et al. (2020) [57]	Смарт-печатка	Прототип	Инерционный датчик	MCU: n.d.	n.d.	P2P	n.d.	Офлайн	Кинематика человека	Модель распознавания: динамическая трансформация шкалы времени (DTW) FastDTW Half-DTW	Mobile APP	Тяжелая атлетика	15 упражнений 20 сетов по 10 подходов	N=8; пол: n.d.; возраст: n.d.

Примечание: AI – искусственный интеллект; APP – приложение; BLE – Bluetooth с низкой энергией; CNN – сверточные нейронные сети; DT – дерево решений; ЭКГ – электрокардиограмма; GNSS – глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС); GPS – система глобального позиционирования; k-NN – K-ближайшие соседи; MCU – микроконтроллер; ML – машинное обучение; P2P – Peer-to-Peer; SPI – интерфейс последовательного порта; SVM – метод опорных векторов; n.d. – не определен.

Одноранговая, децентрализованная или **пиринговая** (англ. *peer-to-peer, P2P* – равный к равному) сеть – оверлейная компьютерная сеть, основанная на равноправии участников. Часто в такой сети отсутствуют выделенные серверы, а каждый узел (peer) как является клиентом, так и выполняет функции сервера. В отличие от архитектуры клиент-сервера, такая организация позволяет сохранять работоспособность сети при любом количестве и любом сочетании доступных узлов. Участниками сети являются все узлы.

P2P обучение (от англ. *peer-to-peer* – «равный – равному») – система взаимного обучения, в которой участвуют люди, стоящие на одной ступени учебной иерархии. В ней отсутствуют такие понятия как «учитель» или «наставник», поэтому между участниками процесса нет вертикального подчинения.

Таблица 3. – Результаты исследования

Исследование	Вид устройства	Применение	Обработка / ML подход	Точность измерений	Основные выводы	Тип нагрузки
Akpa2019 [38]	Перчатка	Отслеживание физической активности в закрытых помещениях	k-NN	Личностно-независимая: 88 % F score: 0,889. Личностно-независимая: 82 % F score: 0,830	Устройство позволяет автоматически подсчитывать количество повторов, анализируя временные ряды распределения давления, прикладываемого к ладони руки	Внешняя
Barricelli2020 [39]	Напульсник	Мониторинг спортсмена	SVM-based	SVM-based: не определен	Цифровые двойники человека, используемые к приложению SmartFit, помогают получить достоверные прогнозы о состоянии «двойника» и облегчают оптимизацию тренировочного процесса	Цифровая
Brueck2018 [40]	Напульсник	Определение уровня гидратации о организма спортсмена	n.d.	n.d.	Часы для контроля уровня потоотделения в режиме реального времени позволяют определять уровень потоотделения со средней погрешностью 18 % по сравнению с методом ручного измерения. Будущие разработки с использованием интерфейсов Интернета вещей и физиологических датчиков смогут увеличивать количество отслеживаемых физических нагрузок и стратегий гидратации организма	Внутренняя
Guo2019 [41]	Напульсник	Мониторинг бега	XGBoost-based	97,26 % F score = 0,973	Предложенная модель показала свою эффективность и целесообразность по сравнению с предыдущими моделями, предоставив интересное решение для оценки физического состояния спортсмена во время бега	Внешняя

Продолжение таблицы 3

Исследование	Вид устройства	Применение	Обработка / ML подход	Точность измерений	Основные выводы	Тип нагрузки
Huang2018 [42]	Эластичный ремень на голень	Распознавание физической активности	SVM	SVM: более 80 %	Точность измерения достигает 90 % для определенных видов деятельности, при этом экономится 25 % энергии по сравнению с другими датчиками. Распознавание движений человека было достигнуто с использованием предложенного подхода	Внешняя
Huynh-The2021 [43]	n.d.	Распознавание двигательной активности человека	DeepFusion-HAR	DeepFusionHAR: 97,4 %	DeepFusionHAR достиг точности 97,4 % в распознавании физических упражнений в разных видах спорта	Внешняя
Municio2019 [44]	Велосипед	Велокросс-тренировка	n.d.	n.d.	Предлагаемый подход помогает легко отслеживать езду на велосипеде без использования технологий 4G, а используя платформу на базе Интернета вещей (IoT)	Внешняя
Munoz-Organero2019 [45]	Напульсник	Распознавание двигательной активности человека	CNN	P-кратная перекрестная валидация: F score: 0,87	Представленные результаты на 8 % лучше результатов, полученных с помощью p-кратной перекрестной проверки. Распознавание различных видов деятельности человека поможет в будущем идентифицировать двигательную активность и улучшить распознавание качества выполнения движений	Внешняя
Qi2019 [46]	Напульсник. Эластичный ремень на грудь	Подсчет повторов и определение физической нагрузки	Нейросети	Нейросети: 95,2 %	Предложенный подход позволил с хорошей точностью классифицировать 19 видов физических нагрузок в спортзале, при этом можно не только отслеживать выполнение упражнения, но и при необходимости разрабатывать индивидуальную нагрузку	Внешняя

Продолжение таблицы 3

Исследование	Вид устройства	Применение	Обработка / ML подход	Точность измерений	Основные выводы	Тип нагрузки
Roslan2020 [47]	Смарт-часы	Мониторинг прыжков в высоту	n.d.	n.d.	Процесс проверки был подтвержден, и повышена точность измерений	Внешняя
Sun2019 [48]	Смартфон, закрепленный на ремне	Распознавание поведения бейсболистов на и вне игрового поля	LSTM w/Decision Fusion: SVM w/. Акселерометр	97,33 % 87,33 %	Предложенный метод позволил классифицировать двигательную активность бейсболистов на и вне поля. Это является шагом вперед в оценке эффективности игрока и принятия решения по ее повышению и в разработке новых стратегий подготовки каждого игрока	Внешняя
Wang2018 [49]	Напульсник	Классифицировать не менее трех различных ударов в бадминтоне	SVM	97 % распознавание удара, 90,3 % распознавание отражения удара	Датчики позволяют фиксировать движения во время игры в бадминтон, что может помочь улучшить технические навыки и индивидуализировать подготовку спортсмена	Внешняя
Wang2020 [50]	Майка	Мониторинг ЧСС	RBFN-LMPN	73,58 %	Процесс мониторинга позволяет контролировать состояние здоровья игроков в режиме реального времени и выявлять ситуации перегрузки сердечно-сосудистой системы на раннем этапе	Внутренняя
Wilkerson2018 [51]	Эластичный ремень на верхнюю часть грудной клетки	Распознавание травмы и профилактика	n.d.	n.d.	Модель позволяет с достаточной точностью прогнозировать вероятность получения травмы. Это шаг вперед в профилактике травм в спорте и в индивидуализации стратегий обучения для снижения воздействия травм	Внешняя

Окончание таблицы 3

Исследование	Вид устройства	Применение	Обработка / ML подход	Точность измерений	Основные выводы	Тип нагрузки
Xia2020 [52]	Напульсник	Распознавание движений в видах спорта с использованием ракетки	Multilayer Hybrid Clustering Model	86 %	Напульсник позволяет с хорошей точностью обнаруживать движения ракеток, что помогает количественно оценить качество и количество движений во время тренировок и соревнований	Внешняя
Xiao2020 [53]	Напульсник/ браслет	Мониторинг ЧСС	R-wave распознавание	98,95 %	Носимое устройство помогает на ранней стадии обнаружить сложные ситуации, связанные с состоянием здоровья игроков	Внутренняя
Zhang2019 [54]	Смарт-часы	Распознавание движения в настольном теннисе	Random Forest; k-NN; Дерево решений	97,8 % 95,02 % 94 %	Носимые устройства позволяют с большой точностью распознавать движения в настольном теннисе, что помогает определить количество и качество перемещений, а также улучшить разработку планов тренировки и управления физической нагрузкой	Внешняя
Zhao2020 [56]	n.d.	Мониторинг физиологического статуса	Kalman Filter	n.d.	Напульсник позволяет с хорошей точностью распознавать движения ракетки, помогая количественно оценить качество и количество движений во время тренировок и матчей	Внешняя
Zou2020 [57]	Перчатка	Мониторинг деятельности спортсмена в реальном времени	n.d.	90,66 %	iCoach позволяет распознавать 15 комплектов обучающих программ, а также обнаруживать нестандартное поведение, что способствует совершенствованию структуры тренировки	Внешняя

Примечание: CNN – сверточные нейронные сети; k-NN – k-ближайшие соседи; LSTM – долговременная кратковременная память; ML – машинное обучение; RBFN – радиальная базовая функциональная сеть; SVM – метод опорных векторов; n.d. – не определен.

3.3. Результаты индивидуальных исследований

Результаты, извлеченные из исследований (таблица 3), основаны на характеристиках алгоритмов носимых устройств и/или машинного обучения. После проведенного анализа было обнаружено, что только три из включенных исследований были проведены не в области носимого устройства, а с использованием эффективности алгоритма ML.

4. Обсуждение

Целью данного систематического обзора было выявление и обобщение исследований, в которых изучалась применимость носимых и IoT-устройств для оценки подготовленности спортсменов.

В целом рассмотрены и дана оценка одиннадцати различным носимым/IoT-устройствам. Анализировались научные статьи, посвященные эффективности применения перчаток [38, 57], напульсника [39–41, 46, 49, 52, 53], эластичного ремня на голень [42], велосипеда [44], пояса [45], эластичного ремня на грудь [46], смарт-часов [47, 54], смартфона, прикрепленного к поясу [48], футболки [50], эластичного ремня на верхнюю часть грудной клетки [51] и браслета [53]. В двух исследованиях отсутствовала информация о результатах использования носимых/IoT-устройств для оценки подготовленности [44, 47]. Для обсуждения анализируемых технологий выбрана оценка исследуемых научных работ на основе характеристик, представленных в таблице 2, с учетом соответствующих критериев применения устройств и их влияния на прикладные характеристики. Обсуждение основывается на следующих четырех критериях:

A. Считывание (распознавание): пригодность используемых датчиков для получения биомаркеров;

B. Обработка: вычислительная мощность и ее влияние на автономность устройства;

C. Коммуникации: протоколы связи и их влияние на автономность, безопасность и конфиденциальность устройства;

D. Применимость: применимость носимой/IoT-технологии для оценки подготовленности.

Как правило, носимые и IoT-устройства спортсмены используют в виде одежды или других аксессуаров, предназначенных для подключения датчиков, микропроцессора и блока связи, который обеспечивает связь со смартфоном или сторонним провайдером услуг, а также соответствуют требованию иметь небольшой размер, мощный центральный процессор (ЦП) для периодической быстрой обработки данных с низким энергопотреблением и маломощной связью для осуществления повсеместной функциональной совместимости. При использовании IoT-устройств смартфон играет центральную роль не только для хранения и обработки данных, но и для работы в качестве шлюза, расширяя возможности носимых устройств с повсеместным подключением к интернету.

Что касается критерия A, пригодности используемых датчиков для получения биомаркеров, то по-прежнему важно развивать технологии интегрированного считывания (распознавания), а именно с акцентом на миниатюризацию на

уровне интегральной схемы (ИС), которая включает в себя конструкцию интегральных микросхем (System on Chip, SoC) для сбора данных, предварительной обработки и беспроводной связи [58, 59]. Поскольку носимые устройства физически прикреплены к телу спортсмена, отсутствие проводов может иметь большое значение в отношении применимости таких систем в реальных условиях. Поэтому разработка специальных ИС, которые интегрируют сенсорные технологии (т. е. включают аналоговый пользовательский интерфейс (фронтэнд) для сопряжения датчиков), мощный ЦП (для периодической обработки) и маломощную радиосвязь (для периодической связи), является направлением, которое следует учитывать. Для повышения надежности сенсорные технологии должны быть сосредоточены на улучшении отношения сигнал/помехи и чувствительности, что может потребовать от производителей ИС новых возможностей, таких как новые подходы к конструктивному оформлению ИС SoC, которые направлены на поиск более надежных и устойчивых носимых устройств [60, 61].

Относительно критерия B, снижение общего потребления энергии носимыми/IoT-технологиями крайне важно для достижения более высоких технологических уровней. Однако только две из проанализированных статей [38, 42] оценили автономную работу устройств, большинство технологий находятся еще на стадии опытного образца. Кроме того, соответствие дизайну Интегральной схемы для конкретного применения (Application Specific Integrated Circuits, ASICs) поможет снизить общее потребление энергии, при этом интеграция и миниатюризация позволят создать более удобные носимые и IoT-устройства для применения в спорте. В результате снизится общая стоимость таких устройств, так как крупномасштабное производство имеет тенденцию уменьшать общую стоимость их изготовления.

Относительно критерия C большинство проанализированных устройств используют коммуникационные стандарты, разработанные для применения в Локальных сетях (Local Area Networks, LAN) с использованием Wi-Fi [47–49] и Zigbee [53]) протоколов или в персональной сети (Personal Area Network, PAN), используя Bluetooth [41, 46, 53, 54] и Bluetooth с низким энергопотреблением (Bluetooth Low-Energy, BLE) [38, 40, 44, 49, 52]. Только одна работа использует глобальную сеть (Wide Area Network, WAN), т. е. мобильную связь 4G [56]. Рассматривая воздействие протоколов связи на автономию устройств, важно иметь в виду, что из исследованных протоколов только Zigbee и протоколы BLE были разработаны для операций малой мощности, подразумевая, что у всех работ, которые полагаются на другие протоколы связи, автономия будет меньше главным образом из-за влияния принятых протоколов связи. Другим важным фактором, которому не была дана оценка в данном исследовании, – это коммуникационная задержка, которая в большой степени зависит от используемых коммуникационных технологий. Что касается безопасности, Wi-Fi использует 256-битное шифрование, тогда как Bluetooth и LE используют только 128-битное шифрование, которое является общим уровнем безопасности, который требуют стандартные приложения. Однако если требуется высокий уровень безопасности, Wi-Fi можно рассматривать наряду с Wireless Equivalent Privacy (WEP) и Wi-Fi

с защищенным доступом (WPA2-AES), которые определенно делают коммуникации более безопасными [62].

Относительно критерия D, среди научных работ, представивших результаты оценки подготовленности, были определены две главные категории: 1) мониторинг физиологического статуса с пятью работами [40, 41, 50, 53, 56] и 2) распознавание/отслеживание деятельности с одиннадцатью работами [39, 42, 43, 45, 46, 48, 49, 51, 52, 54, 57], которые будут рассмотрены в следующих двух подразделах.

4.1. Носимые устройства и IoT-технологии для мониторинга физиологического статуса в оценке подготовленности

Из первой категории – мониторинг физиологического статуса – применялись несколько носимых и IoT-технологий (напульсник [40, 41, 53]; футболка [50]; браслет [53]) наряду с такими методами, как индивидуальная обработка/машинное обучение (таблица 3).

В трех научных работах [40, 41, 53] использовали напульсник в фазе прототипа для контроля физиологического статуса. Brueck et al. [40] представили прототип напульсника с калориметрическим датчиком, соединенный с Raspberry Pi для отправки данных об уровне потоотделения в облако с целью контроля гидратации спортсмена.

> ***Справочно.*** *Raspberry Pi* – одноплатный компьютер размером с банковскую карту, изначально разработанный как бюджетная система для обучения информатике, но позже получивший более широкое применение и известность.

В другой работе [41] прототип датчика, выполненный в форме эластичного ремня на голень, оборудован датчиком движения для мониторинга показателей спортсмена-подростка во время бега. Xiao et al. [53] используют напульсник для контроля состояния здоровья спортсменов, регистрируя ритм сердечных сокращений и передавая показатели на смартфон или компьютер для хранения и дальнейшего анализа.

Две оставшиеся работы, относящиеся к первой категории, применяли футболку [50] и браслет [53]. Прототип на основе футболки снабжен датчиками для регистрации сердечного ритма и ускорения. Полученные данные передаются Облачным сервисам, которые далее классифицируются с помощью модели машинного обучения для получения прогноза о ЧСС спортсмена. Последний прототип используется ведущими командами альпинистов, предоставляя информацию о температуре тела и сердечного ритма. С помощью 4G информация загружается на платформу управления сетью Cloud для хранения данных и дальнейшего использования.

Применение мониторинга физиологического статуса играет определяющую роль в индивидуализации тренировочного процесса. Одним из наиболее распространенных маркеров, применяемых для контроля и управления тренировочной интенсивностью, является частота сердечных сокращений и использование новых возможностей в виде напульсников или футболок, помогает снизить

дискомфорт, связанный с применением эластичного ремня на грудь, традиционно ассоциируемых с мониторингом ЧСС. Кроме того, дополнительная информация об уровне потоотделения позволит корректировать гидратацию с целью адаптации к окружающей среде и реакции спортсмена на выполняемую нагрузку. Сочетание этих показателей с обработкой данных с использованием машинного обучения (machine learning) позволяет выполнить быструю идентификацию критических или целевых тонировочных зон для каждого участника с учетом их показателей в подобных условиях. В будущем это позволит создавать тренировочные условия или даже определять потребности конкретного спортсмена в питании и гидратации до и после тренировки. Возможно в будущем сочетание показателей ЧСС и данных, основанных на ускорении, позволит достичь лучшего понимания взаимоотношения «доза – ответная реакция» между внешней нагрузкой (доза) и ее влиянием на внутреннюю нагрузку (ответ), которое может быть разным у каждого спортсмена, если говорить о базовых уровнях подготовленности.

4.2. Носимые устройства и IoT-технологии для распознавания/отслеживания деятельности в оценке подготовленности

Относительно второй категории, а именно *распознавания/отслеживания деятельности*, использовались несколько IoT-технологий (напульсник [39, 46, 49, 52]; эластичный ремень на голень [42]; пояс [45]; эластичный ремень на грудь [46]; смартфон, закрепленный на поясе [48]; эластичный ремень на верхнюю часть грудной клетки [51]; перчатка [57], умные часы [47, 54]), наряду с такими подходами, как индивидуальная обработка/машинное обучение (таблица 3).

В семи научных работах [39, 42, 45, 46, 49, 52] для распознавания/отслеживания активности использовали эластичные пояса (на запястье, голень, талию и грудь). Barricelli et al. [39] использовали промышленный образец Fitbit charge HR для контроля сердечного ритма, подсчета шагов, контроля физической активности и отслеживания сна. Затем данные передавались в облако для создания цифрового двойника спортсмена (Digital Twin, DT), который непрерывно пополняется показателями его подготовленности. После сбора достаточного количества данных DT прогнозирует результаты спортсмена во время тренировки, и в зависимости от его показателей предлагаются возможные изменения в поведении спортсмена. В еще одной научной работе [46] используется прототип, разработанный для распознавания упражнений, выполняемых в спортзале. Этот прототип состоит из двух устройств, один из которых располагается на запястье, а другой – на области грудной клетки. Оба устройства снабжены акселерометром, а также датчиком, расположенным на области груди, который регистрирует сигналы кардиограммы. Собранные данные предварительно классифицируются, чтобы отличить аэробные нагрузки от силовых упражнений со свободным весом (с гантелями). Затем прототип подсчитывает количество повторений и серий упражнений со свободным весом, а также распознает аэробную нагрузку или даже выполняемую в положении сидя. В третьей работе [49] прототип на основе напульсника был снабжен инерциальными датчиками распознавания

классических спортивных движений, выполняемых ракеткой. Данные, собранные с помощью напульсника, посылают в смартфон через Bluetooth с низким энергопотреблением (Bluetooth Low Energy, BLE), который передает их на удаленный сервер в Облаке для дальнейшего анализа и консультаций. В четвертой работе [52] предложен прототип, состоящий из браслета с встроенными акселерометрами и гироскопами и многоуровневой гибридной модели кластеризации для достижения регулярного распознавания движения в ракеточных видах спорта. Данные, собранные напульсником, посылают в смартфон через BLE для консультации или ознакомления всех заинтересованных сторон. В работе Huang et al. [42] представлен прототип в виде эластичного ремня на голень, интегрированного с датчиками движения для обеспечения возможности распознавания физической активности путем сбора данных на компьютер и последующей их классификации с использованием алгоритмов на основе машинного обучения (ML-based algorithms). В еще одной работе [45] авторы представляют прототип со встроенным трехосевым акселерометром для сбора данных о движениях, выполняемых человеком. После сохранения данных используется сверточная нейронная сеть для извлечения соответствующих признаков для распознавания и определения параметров выполняемой физической активности. Наконец, авторы исследования [43] представили прототип с трехмерными датчиками для сбора данных. Полученные данные сегментируются (распределяются) для выделения признаков двумя различными способами: в первом случае изображение кодируется (преобразуется), а во втором – данные извлекаются вручную. Обе экстракции объединяются и классифицируются с использованием метода опорных векторов (Support Vectors Machine, SVM).

> ***Справочно.*** *Метод опорных векторов (support vector machine, SVM)* – один из наиболее популярных методов обучения, который применяется для решения задач классификации и регрессии. Основная идея метода заключается в построении гиперплоскости, разделяющей объекты выборки оптимальным способом. Алгоритм работает в предположении, что чем больше расстояние (зазор) между разделяющей гиперплоскостью и объектами разделяемых классов, тем меньше будет средняя ошибка классификатора.

Четыре оставшиеся работы, которые соответствуют второй категории, рассматривают прототип, включающий смартфон, прикрепленный к поясному ремню [48], эластичный ремень на верхнюю часть грудной клетки [51], перчатку [57] и смарт-часы [47,54]. Sun et al. [48] представили прототип, состоящий из инерциальных датчиков и камеры глубины для распознавания поведения спортсмена на поле и вне его. Прототип состоит из эластичного ремня, к которому прикреплен сотовый телефон для сбора данных. Данные от обоих датчиков сначала сегментируются для последующей классификации с использованием алгоритмов на основе машинного обучения (ML-based algorithms). Во второй работе [51] был разработан прототип на основе нагрудной ленты с акселерометрами для распознавания и профилактики травм у спортсменов. Опираясь на ранее введенные данные, этот прибор способен оценить положение спортсмена при выполнении упражнений для предупреждения риска получения травмы.

Все данные собирает смартфон, который позже отправляет их на сервер в Облаке. Третий прототип [57] представляет собой перчатку со встроенными инерциальными датчиками для распознавания активности и определения нестандартного поведения с представлением данных в мобильное приложение для оценки и анализа качества. Еще одна работа [54] представляет решение для распознавания движения человека во время тренировки в настольный теннис с использованием промышленных смарт-часов. Это устройство позволяет собирать такие данные, как ускорение, угловую скорость и напряженность магнитного поля, которые отправляются на смартфон и компьютер для дальнейшей классификации с использованием алгоритмов на основе машинного обучения (ML-based algorithms).

Сокращение количества устройств для дифференциации модальности упражнений и количественной оценки внешней нагрузки и воздействия на спортсмена является одним из главных приоритетов спортивных наук в будущем. Внедрение IMU позволяет минимизировать использование механических инструментов, которые обычно менее удобны и портативны. Как упоминалось выше, использование эластичных ремней, перчаток или смарт-часов является шагом вперед, чтобы сделать получение количественных данных более простым и удобным. Преимущество использования этих устройств заключается в возможности интеграции облачных решений и обработки данных. Корректировка тренировок на основе этого процесса может быть отличным решением для спортсменов-любителей или профессионалов. Например, тренировка скоростных качеств позволяет в настоящее время определить количество повторений в одном подходе с контролем максимальной потери ускорения. Это обеспечивает более высокую результативность главным образом при выполнении тяжелоатлетических упражнений с максимальным весом. То же самое относится и к метательным упражнениям. Способность устройств обнаруживать эти изменения и проводить дополнительную корректировку для определения соответствующей нагрузки и повторений для спортсмена может быть шагом вперед при использовании машинного обучения. Кроме того, имеется возможность рекомендовать недельный график тренировок, наиболее подходящие упражнения или автоматическую настройку нагрузки, что поможет любому, кто тренируется самостоятельно без участия тренера для силовой подготовки и развития выносливости.

5. Заключение

Носимые и IoT-технологии используются в спорте для мониторинга как внутренних, так и внешних нагрузок спортсменов. Получение большего количества биомаркеров, касающихся внутренней нагрузки спортсмена, имеет решающее значение для эффективной корректировки тренировок и повышения результативности спортсмена. Важный вывод, сделанный на основе проведенного аналитического исследования, заключается в том, что степень развития данных технологий до сих пор остается низкой, что в конечном итоге сдерживает их широкое применение в спортивной практике.

С другой стороны, мониторинг физиологического статуса и распознавание/отслеживание физической активности открывают новые возможности

в оценке физического состояния спортсмена; примечательно, что с недавними достижениями в машинном обучении в спорте прогностическая фитнес-аналитика становится последовательным направлением, позволяющим использовать прогностические модели для определения соответствующих обучающих и внутриигровых стратегий.

Представленный систематический обзор показал, что информация о внутренней и внешней нагрузке была собрана и проанализирована независимо друг от друга. В будущем необходимо усовершенствовать методы машинного обучения для профессионалов и спортсменов-любителей, помогая им контролировать и корректировать тренировочный процесс с учетом индивидуальных условий и факторов окружающей среды.

Статья содержит 66 источников литературы, с которыми можно ознакомиться по адресу: https://www.mdpi.com/1424-8220/21/16/5418.

Перевод с английского ***Л.И. Кипчакбаевой***
Научная редакция ***М.Е. Агафоновой***