

ОБЗОРЫ, ЛЕКЦИИ, ДОКЛАДЫ

НОВЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ

УДК 616-07

Курашвили В. А.: начальник отдела, д.м.н., профессор, действительный член РАЕН.

ГУ «Центр инновационных спортивных технологий Департамента физической культуры и спорта города Москвы», г. Москва

В спортивной медицине исключительную роль играет системный подход, который обуславливает стандартизацию диагностических нормативов, оценку состояния здоровья с позиций определенных групп факторов риска. К ведущим направлениям спортивной медицины можно отнести такие области, как спортивная кардиология, функциональная диагностика, диагностика соматических расстройств спортсменов, диагностика иммунного статуса спортсменов, диагностика травм опорно-двигательного аппарата спортсменов и другие. В настоящем обзоре мы сосредоточим внимание на наиболее инновационных, наукоёмких разработках в сфере спортивной медицины.

В последние несколько десятилетий многие из достижений в спорте обусловлены развитием технологией. Некоторые изменения очевидны даже для самого случайного наблюдателя - резиновые беговые дорожки, легкие ракетки, аэродинамические костюмы. Но самое главное остается за кулисами: системы регистрации движений, программы обработки изображений, огромное количество физиологических мониторов. Все эти устройства позволяют не только контролировать состояние организма, но и оттачивать технику, составлять оптимальные графики тренировок и т.д.

Так, в Англии принята и уже успешно развивается программа SESAME - SEnsing in Sport And Managed Exercise, что можно перевести как «Системы регистрации для спорта и контролируемых физических упражнений». Создан консорциум научных и медицинских центров, в который вошли Компьютерная лаборатория Кембриджского университета (University of Cambridge's Computer Laboratory), Отдел компьютерных наук (UCL Computer Science Department), Отдел спортивной науки (UWIC Sports Sciences Department) и ряд других учреждений. Финансирование проекта осуществляется через Совет инженерных и физических наук (Engineering and Physical Sciences Research Council).

Этот амбициозный проект ставит своей целью создание интегрированной системы мониторинга спортсмена. Такая интерактивная информационная система для мониторинга и управления физической тренированностью спортсмена должна обеспечивать высокую точность диагностики физического состояния. Одновременно обеспечивается накопление индивидуальных данных, графическое представление динамики параметров физического состояния, удобный и наглядный интерфейс. Система включает также целый ряд функций для помощи тренерам и методистам с целью эффективного проведения тренировок, в том числе в удаленном режиме с использованием интернет и мобильных сервисов.

Использование технологии 3D. Исследователи из Брунельского университета представили очередную интересную разработку для медиков – первую в мире программу, которая дает возможность пациентам показывать, где у них болит спина. Интерфейс программы представлен в виде подробной 3D-модели человеческого тела. Используя карманный компьютер и браузер,

пациент может показать на модели, где у него болит, а также охарактеризовать боль как жгущую, колющую, ноющую или онемение. При этом на модели каждый вид боли обозначается другим цветом.

Данные о болевых ощущениях пациента сохраняются и могут быть воспроизведены в виде простой анимации. Вращая, приближая и перемещая 3D-модель, доктора могут наблюдать, как изменяются болевые ощущения пациента и болевые точки, анализировать эти данные и назначать соответствующее лечение. Кроме этого, есть возможность вывести данные за определенный период времени [1].

Группа исследователей из Университета Калгари (University of Calgary) разработала установку виртуальной реальности, названной CAVEman 3-D Virtual Patient. Она может отчетливо показать, что происходит внутри тела человека после приема лекарственных препаратов. Ученые могут, одев пару 3D-очков, рассмотреть все происходящее внутри человеческого тела, а также провести симуляцию исследования метаболизма и других процессов в человеческом теле, вызванных приемом лекарственных препаратов. Установка CAVEman 3-D Virtual Patient состоит из трех стереоскопических проекторов, установленных на полу и одного, установленного на потолке. Эти проекторы отображают человеческое тело, анимированное с помощью компьютера. Просматривая изображение через стереоскопические очки, исследователи могут наблюдать за кровообращением, за распространением лекарственных препаратов по человеческому телу и за результатами их воздействия.

Ученые под руководством биохимика Кристофа Сенсена (Christoph Sensen) собираются разработать целый ряд программ компьютерных симуляций, которые будут моделировать прогрессию некоторых болезней, таких как болезнь Альгеймера, диабет, рак и других. Эти программы симуляций помогут врачам буквально «выскивать» необходимые лекарственные препараты и методы их введения для успешного преодоления заболевания. «Вы можете буквально стоять внутри пациента» - говорит Кристоф Сенсен – «и видеть насколько велики масштабы заболевания, как необходимо на него воздействовать и к каким результатам это может привести» [2].

Использование нано технологий

Исследователи Массачусетского технологического института разработали новую систему транспортировки лекарственных препаратов прямо внутри тела пациента. Эта методика основана на использовании золотых наночастиц, которые являются «транспортным средством» для переносимых лекарственных препаратов. Управление перемещением этих наночастиц и команды на отделение лекарственного препарата осуществляются с помощью источника инфракрасного излучения, в большинстве случаев инфракрасного лазера, излучение которого вызывает плавление золота и высвобождение прикрепленного к поверхности лекарственного препарата.

Эта новая система может быть очень полезна в тех случаях, когда необходимо точно в заданные промежутки времени обеспечить ввод необходимого количества различных ле-

карственных препаратов строго в определенном месте тела пациента. Такие методики лечения могут найти широкое применение при лечении таких заболеваний как рак или СПИД. Другие, уже существующие методики могут, в принципе, обеспечить методику ввода двух различных типов препаратов в различные моменты времени, но ни с одной из этих методик не представляется возможным обеспечить управление процессом снаружи тела пациента. Разработчики новой технологии утверждают, что использование золотых наночастиц для переноса лекарственных препаратов может обеспечить ввод в организм одновременно до четырех-пяти видов препаратов, при этом высвобождением каждого вида препарата в разные моменты времени можно будет управлять извне. Это достигается за счет использования нескольких типов наночастиц различающихся формой и размерами, таким образом, ученые добились того, что при облучении излучением различной длины волны можно воздействовать только на определенный тип наночастиц, несущий определенный вид лекарственного препарата.

Эта новая технология уже успешно прошла испытания, в ходе которых в тело пациента вводились два вида наночастиц – «nanobones» и «nanocapsules». Частицы типа «Nanobones» плавилась при облучении излучением с длиной волны 1100 нанометров, а «Nanocapsules» при длине волны излучения в 800 нанометров. Этот процесс наглядно представлен на фотографии, размещенной в начале этого материала [3].

Использование инфракрасных источников излучения. Недавно разработан метод оптической когерентной томография, в котором для зондирования биоткани используется оптическое излучение ближнего инфракрасного диапазона (~1 мкм). Получение визуальной информации о внутренней структуре тела человека всегда вызвало живой интерес спортивных врачей - прежде всего с точки зрения установления и уточнения диагноза и проведения реабилитационных мероприятий. Однако до открытия рентгеновских лучей внутренние органы были недоступны зрению, а медицинский диагноз устанавливался только по внешним проявлениям заболевания. Далее постепенно в медицинскую практику были внедрены другие методы медицинской визуализации, а именно, метод ультразвукового исследования (УЗИ), компьютерная томография (КТ) и магнитная резонансная томография (МРТ).

Теперь появились новые возможности. В распоряжении спортивной медицины теперь есть оптическая когерентная томография (ОКТ) - метод неинвазивного исследования тонких слоев тканей человека, от сетчатки глаза до пяточной кости. Это оптический метод визуализации, которая использует инфракрасный свет для создания изображений с высоким разрешением. Физический принцип действия ОКТ аналогичен ультразвуковому исследованию. Поэтому, терминологически данный метод следует отнести не к томографии, а к эхозондированию, так как при построении ОКТ-изображения не решается томографическая обратная задача.

Фирмой Optovue (США) разработан оптического когерентного томографа RTVue-100 для получения изображений внутренней структуры биотканей, являющихся сильно рассеивающими и относительно слабо поглощающими средами. С использованием источников излучения ИК-диапазона с длительностью когерентности 30 фемтосекунд созданы оптические томографы для неповреждающей диагностики биотканей (в том числе эндоскопической) на глубину до 2 мм с пространственным разрешением до 10 мкм. С помощью томографа RTVue-100 можно получать оптические томограммы различных слоев внутренних органов человека в норме и патологии, включая изображения суставов и позвоночника. Разработан алгоритм восстановления параметров рассеяния биотканей по изображениям в ОКТ, позволяющий количественно описать их состояние.

Следует отметить, что получаемую таким образом информацию невозможно получить с помощью существующих методов медицинской диагностики, включая компьютерную томографию и ультразвуковую. Развитие методов ОКТ приближает реализацию идеи оптической биопсии. Преимущество ОКТ состоит в том, что она обеспечивает до 10 раз большее разрешение, чем ультразвук (4-20 мкм по сравнению с 110 мкм). RTVue-100 не является источником ионизирующего излучения, таких как рентгеновские лучи. Система обеспечивает экстремальное разрешение изображений; компьютерные образы исследуемых органов и систем являются четкими и подробными, давая спортивным врачам беспрецедентные возможности для оказания реабилитационной помощи [3].

Использование биосенсоров. Широкое распространение в последние годы получили биосенсоры, которые могут передавать спортивным врачам информацию о состоянии спортсмена в режиме реального времени. Уже существуют примеры интегрирования в одежду физических сенсоров для мониторинга давления и пульса, однако созданию интегрированных в одежду биохимических сенсоров уделялось куда меньшее внимание.

Недавно удалось разработать метод нанесения биосенсоров непосредственно на одежду. Для получения сенсоров исследователи использовали трафаретную печать системы углеродных электродов на нижнем белье. Такое расположение биосенсоров обеспечивает их непосредственный контакт с кожей и позволяет отслеживать концентрацию пероксида водорода и целого ряда биохимических показателей.

Напряжение, которое возникает при повседневной носке белья – растяжение или перекручивание ткани белья не приводит к снижению производительности сенсоров. Специалисты полагают, что такая долговечность сенсоров позволит им найти применение во многих областях. В настоящее время существует огромное количество электрохимических сенсоров, способных относительно недорого определять самые различные соединения с высокой точностью.

Программное обеспечение для интегрированной системы делает возможным постоянный информационный обмен между центром и отдаленными регионами страны. Информация из всех общеобразовательных школ, спортивных учреждений и организаций стекается в единую информационную базу, которая доступна всем участникам проекта. Таким образом, специалисты могут получать информацию о каждом спортсмене (вне зависимости от степени удаленности места его проживания), могут просматривать данные о его физическом и психическом здоровье, уровне спортивной подготовки и прогнозе специалистов относительно его спортивной карьеры [5].

Использование новых протоколов передачи данных. В спорте широко используются устройства для мониторинга физиологических функций спортсменов. Однако не все параметры могут быть зарегистрированы и проанализированы в режиме реального времени. Например, до недавнего времени не удавалось создать миниатюрную систему для методики пульсовой оксиметрии. Эта методика позволяет оценить степень оксигенации артериальной крови, однако практическое использование этой методики в спорте сдерживалось сложностью аппаратного обеспечения и его высокой стоимостью. Но вот недавно канадская компания ANT, которая размещается в г. Кохрейн (Cochrane), провинция Альберта (Alberta), разработала новое устройство ANT+.

Используя ANT+, можно одновременно подключиться к датчику оксигенации, шагомеру, пульсомеру и другим датчикам, осуществляющим мониторинг здоровья спортсмена. Устройство беспроводной передачи данных ANT+ задействует технологии, требующими крайне мало энергии, что прекрасно подходит для

анализаторов здоровья и фитнес-мониторов, представляя все преимущества цифровой беспроводной связи с более низким энергопотреблением, по сравнению с другими протоколами беспроводного соединения. При переносе данных на персональный компьютер имеется возможность скрыть данные от посторонних глаз. Эта функция – первая в своем роде – обеспечивает «приватность» результатов измерений, и прекрасно подходит для тех, кто не хочет афишировать показатели своего здоровья, что делает данную методику оптимальным выбором. Об успехе компании можно судить по тому факту, что две трети велосипедистов, участвующих в «Тур де Франс», использовали сенсоры ANT+. Модель Forerunner 110 предлагает самый простой способ контроля над тренировками. Устройство включает GPS-приемник, поэтому легко можно определить пройденную дистанцию и скорость движения. Данные каждого забега хранятся в памяти устройства, чтобы позволяет просмотреть результаты за прошлую неделю или прошлый месяц. В данной аппаратуре используется технология HotFix™ для прогнозирования местоположения спутников, благодаря которой обеспечивается быстрый поиск спутников. Высокочувствительный GPS-приемник гарантирует надежный прием спутникового сигнала даже около высоких зданий или под плотными кронами деревьев.

Среди других областей применения данной технологии можно выделить:

- Наблюдение за частотой сердечных сокращений.
- Отслеживание скорости и расстояния.
- Компьютеры для велосипедов.
- Системы связи с низкой скоростью передачи данных.
- Устройства для наблюдения за здоровьем и самочувствием.
- Радиочастотная идентификация.
- LBS-сервисы
- Беспроводное автоматическое снятие показаний приборов.

Ученые из компании ANT обещают, что в скором времени любой смартфон сможет «общаться» со множеством разнообразных устройств. Например, можно будет в реальное время получать на свой телефон данные с ANT+ сенсора велосипеда. Разрабатываются и другие сервисы: например, при достижении критического уровня содержания сахара в крови на смартфоне автоматически будет срабатывать сигнал оповещения [6].

Федеральное агентство США по лекарствам и продовольствию (FDA) и Федеральное агентство по передовым оборонным проектам (DARPA) совместно разрабатывают нанотехнологии, которые позволят осуществлять мониторинг основных функций спортсмена в режиме реального времени. Предложенный ими прибор представляет собой небольшую коробочку, которая умещается на ладони. Устройство оценивает показатели биомаркеров – белковых субстратов, которые отражают функциональное состояние организма на молекулярном уровне.

Спортивным медикам известны ситуации, когда спортсмены, находящиеся в группе риска, могут до последнего находиться в прекрасном физическом состоянии, не вызывающем подозрений во время рутинных медицинских обследований. Тестов, доступных сегодня, недостаточно, чтобы определить индивидуальный риск внезапной смерти, а генетические тесты еще находятся в стадии разработки. Например, одной из причин генетической причины внезапной смерти может быть неисправность ионных каналов в сердце. Это жизненно важные клеточные структуры, через которые кальций, калий или магний поступают или выводятся в ходе нормальной работы сердца. Но если есть хоть малейшая неисправность в этом механизме, вероятность приступа велика.

Инновационные устройства для непрерывного мониторинга биомаркеров могут помочь выявить ранние признаки заболеваний, таких как диабет, сердечно-

сосудистые заболевания, и грипп - задолго до появления симптомов. Они могли бы также пролить свет на достижение пика спортивной формы или, наоборот, чрезмерной перетренированности спортсменов. Руководитель программы Дэниель Ваттендорф (Daniel J. Wattendorf) считает, что в ближайшем будущем уже можно будет говорить о вживлении сенсоров в организм спортсмена. Это позволит проводить мониторинг в реальное время. В настоящее время такого рода датчики способны анализировать только уровень глюкозы в крови, но уже достигнут такой уровень точности, что для диагностики расстройств достаточно одной молекулы анализируемого вещества [7].

Беспроводные системы мониторинга. Мышечный аппарат спортсмена принципиально не способен наращивать массу и силу постоянно в течение долгого времени. Даже хорошо подготовленные профессионалы используют циклическое изменение нагрузки. Однако до недавнего времени порог утомления приходилось определять субъективно, «на глазок». Теперь, благодаря устройству, разработанному в Университете Эссекса, Англия (University of Essex, UK), можно тренироваться с максимальной отдачей, не подвергая мышцы опасности переутомления. Специальное беспроводное устройство, получившее название iSense, способно оценивать и прогнозировать статус мышц во время тренировки. Устройство может быть адаптировано к любым видам спорта.

До сих пор спортсмены должны были полагаться на свое собственное восприятие мышечной усталости, когда проводили тренировку. Теперь iSense помогает оптимизировать производительность тренировочного процесса, сравнивая данные о том, что ощущает спортсмен и то, что на самом деле происходит с мышцами. iSense крепится на любой группе мышц и принимает сигналы электрические сигналы от мышц. Затем эти сигналы пересылаются на приемное устройство, а не – на компьютер. Ученые установили, что ощущение мышечной усталости иногда запаздывает, что может привести к серьезным травмам или микроразрывам мышечных волокон. iSense как раз и предназначено для своевременного распознавания состояния перетренированности – оно может быть использовано как метод обучения, выступая в качестве сигнального устройства. Это позволяет избежать чрезмерных нагрузок на мышцы и, соответственно, возникновения травм.

Специалисты выделяют несколько стадий перетренированности. Первая стадия - начальные явления, по существу, мало отличаются от переутомления. Жалобы у спортсмена чаще всего отсутствуют. В связи с нечеткостью жалоб и клинической картины (особенно в случаях отсутствия выраженного снижения работоспособности) эта стадия перетренированности часто не диагностируется, что влечет за собой переход к более тяжелой второй стадии. Вторая стадия характеризуется постепенным нарастанием нарушений. При третьей стадии перетренированности наблюдается картина выраженного невроза (по типу неврастения и психастении) со вторичными изменениями в разных физиологических системах организма, длительным и резким снижением спортивной работоспособности. Устройство может использоваться не только элитными спортсменами, но лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами. Они часто страдают от мышечной усталости, находясь в одной позе слишком долго. В настоящее время заканчивается написание программы для смартфона iPhone, которая позволит подключить iSense к системе Apple App Store, позволяющей приобретать данную программу через Интернет. С этой же целью можно использовать специальное веб-приложение, которое будет содержать дополнительный код, устанавливающий иконку при сохранении данного приложения в меню. Поддерживается стандарт Wi-Fi 802.11n со скоростью передачи данных до 600 Мбит/с.

Спортивное ведомство Великобритании (UK Sport) заключило соглашение с компанией Argento Diagnostics о разработке нового прибора для оптимизации программ подготовки элитных спортсменов. Ранее предпринималось немало попыток использовать биохимические параметры в качестве маркеров физиологического статуса спортсменов. Оценка скорости мобилизации и утилизации энергетических субстратов при том или ином виде нагрузки, можно было бы составить представление о том, в какой фазе находятся такие параметры, как выносливость, скоростно-силовые качества, окислительные способности мышц и т.д. Однако до недавнего времени определение такого рода индикаторов было связано с трудностями их лабораторного анализа. Теперь появилась реальная возможность оперативно контролировать различные биомаркеры - белки, сигнализирующие о состоянии тела - известный в качестве до, во время и после тренировки. Эти биомаркеры помогут получить четкий сигнал о физическом здоровье и эффективности конкретной программы обучения элитных спортсменов. Компания Argento Diagnostics разработала технологию, позволяющую проводить быстрый, полный диагноз образцов крови, мочи или слюны в течение нескольких минут. Эти образцы смешиваются с наночастицами серебра, покрытых антителами, специфичными для определенных биомаркеров. Если биомаркер присутствует в растворе, серебряные наночастицы намагничиваются и фиксируют биомаркер. Специальные магниты стягивают наночастицы в зону анализа, где и получается количественная оценка происходящего. Полученные результаты выводятся на экран портативного монитора. Доктор Скотт Дройер (Scott Drawer), руководитель отдела исследований и инноваций (Head of Research and Innovation at UK Sport), полагает, что данная технология резко повысит шансы на успех британских спортсменов на международных спортивных соревнованиях. Возможность мониторинга спортивной формы в режиме реального

времени позволит не только более точно составить планы индивидуальных тренировок, но и правильно рассчитать графики достижения пика спортивной формы у элитных спортсменов.

Совместными усилиями компаний Sonostics и BIOPAC Systems создан программно-аппаратный комплекс AcqKnowledge для точного измерения мышечных усилий. Метод основан на принципах миомеханографии. Миомеханография является информативным количественным методом оценки сократительной способности скелетной мышцы. Однако до недавнего времени сдерживающим фактором для использования этого метода была недостаточная точность получаемых данных. Для повышения точности измерений специалисты BIOPAC Systems разработали преобразователи VMG SENSORBPS-II. Сочетание в высшей степени чувствительных акселерометров и специально разработанного программного обеспечения позволяет производить точную оценку мышечной деятельности. Разработчики нового метода, которые поддерживают тесные связи с Отделом биоинженерии (Bioengineering Department) Университета Бингхэмптона (Binghamton University) полагают, что эта технология будет полезна для исследователей в области кинезиологии, для спортивных врачей, тренеров, программам подготовки как профессиональных спортсменов, так и любителей фитнеса.

Был проведен сравнительный анализ электромиографии и миомеханографии. Результаты компаративного исследования свидетельствуют об очевидном преимуществе миомеханографии как средства оценки биоуправления активностью мышц. Данный метод позволяет с высокой точностью оценить уровень физической активности и функции тонических двигательных единиц, отвечающих за активную стабилизацию конечностей. Появляется возможность количественно определять состояние различных групп мышц, определять фазность сокращений и реципрокные взаимоотношения.

Список литературы:

1. Ku D.C., S. F. Qin and D. K. Wright. A Sketching Interface for 3D Modeling of Polyhedrons. Proc. Eurographics Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling, 2006. School of Engineering and Design, Brunel University.
2. Dalsgaard Peter, Kim Halskov. 3D Projection on Physical Objects: Design Insights from Five Real Life Cases. CHI '11 Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems. ACM New York, NY, USA.
3. Jacobs DJ, Ahmad F, Pathengay A, Flynn HW Jr. Central retinal vein occlusion after intense exercise: response to intravitreal bevacizumab. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*. 2011 Jun 30;42.
4. Chung SH, Son SJ, Min J. Nano barcoding cell-based biosensor using fluorophore-embedded silica nanotubes. *J Nanosci Nanotechnol*. 2011 May;11 (5) : 4419-23.
5. Erickson Britt E. Regulators join forces with developers to speed up approval of transformative devices. *Biosensors On The Fast Track*. Chemical & Engineering News (American Chemical Society), March 14, 2011, Volume 89, Number 11, pp. 34 – 35.
6. Duncan Graham-Rowe. Wireless Device Helps Athletes Get the Most out of Exercise. *ScienceDaily*, Feb. 16, 2011.
7. Amir H Bakhtiary, Ziaeddin Safavi-Farokhi, Atefeh Aminian-Far, and Asghar Rezasoltani. Influence of vibration on delayed onset of muscle soreness following eccentric exercise. *Br. J. Sports Med.*, Mar 2007; 41: 145 - 148.

Аннотация.

В статье освещаются современные диагностические технологии, которые могут быть применены в практике спортивной медицины, восстановительной медицины и реабилитации. В настоящее время ведутся разработки широкого спектра различных диагностических приборов. Рассмотрены современные диагностические и лечебные технологии на этапах амбулаторного и стационарного лечения, алгоритмы их использования при заболеваниях скелетно-мышечной системы и других органов и систем организма. Излагаются особенности диагностики спортивных повреждений. Оценивается значение современных методов диагностики и лечения заболеваний скелетно-мышечной системы у спортсменов различных видов спорта.

Ключевые слова: диагностика, спортивная медицина, восстановительное лечение

Annotation.

The article highlights the modern diagnostic technologies that can be applied in practice, sports medicine, regenerative medicine and rehabilitation. Currently, the development of a wide range of different diagnostic devices. Considered by modern diagnostic and therapeutic technology phases out-patient and in-patient treatment algorithms their use in diseases of the musculoskeletal system and other organs and systems of an organism. Describes the diagnostic features of sports injuries. Estimated value of modern methods of diagnosis and treatment of diseases of the musculoskeletal system in athletes of different sports.

Keywords: diagnosis, sports medicine, rehabilitation treatment.

Контакты:

Курашвили Владимир Алексеевич. E-mail: kurashvili@list.ru