

Ю. В. Литвиненко

# СОВРЕМЕННЫЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ СПОРТСМЕНА



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,  
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ФИЗИЧЕСКОГО  
ВОСПИТАНИЯ И СПОРТА УКРАИНЫ

**Ю. В. Литвиненко**

**СОВРЕМЕННЫЕ  
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ  
РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА ДВИГАТЕЛЬНЫХ  
ДЕЙСТВИЙ СПОРТСМЕНА**

Методические рекомендации

Киев — 2012

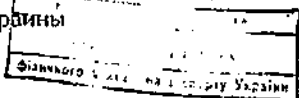
ББК 75.148

Л64

**Рецензенты:**

**Болобан Виктор Николаевич** — доктор педагогических наук, профессор кафедры спортивных видов гимнастики и танцев НУФВСУ, заслуженный деятель науки и техники Украины

**Павленко Юрий Алексеевич** — доктор наук по физическому воспитанию и спорту, доцент, заместитель директора Государственного научно-исследовательского института физической культуры и спорта Украины



**Литвиненко Ю. В.**

**Л64** Современные оптико-электронные системы регистрации и анализа двигательных действий спортсмена / Ю. В. Литвиненко. — К., 2012. — 52 с.

ISBN

В методических рекомендациях дан всесторонний анализ современных оптико-электронных систем регистрации и анализа двигательных действий спортсмена. Изложены теоретические сведения о существующих системах. Преимущества и недостатки данных систем, представленные в ходе изложения материала, позволяют определить возможную сферу их применения.

Методические рекомендации содержат обобщенную информацию о специфике работы различных методик видеорегистрации, а также конкретные алгоритмы по работе с оптико-электронными системами «Qualisys» и «OptoJump».

Для преподавателей и студентов высших учебных заведений спортивного профиля, а также специалистов сферы физической культуры и спорта.

У методичних рекомендаціях подано всебічний аналіз сучасних оптико-електронних систем реєстрації та аналізу рухових дій спортсмена. Викладено теоретичні відомості про існуючі системи. Переваги та недоліки даних систем, що подані в ході викладу матеріалу, дозволяють визначити можливу сферу їх застосування.

Методичні рекомендації містять узагальнену інформацію про специфіку роботи різних методик відеореєстрації, а також конкретні алгоритми з роботи з оптико-електронними системами «Qualisys» і «OptoJump».

Для викладачів та студентів вищих навчальних закладів спортивного профілю, а також фахівців сфери фізичної культури і спорту.

ББК 75.148

*Рекомендовано к печати:*

*Ученым советом научно-исследовательского института НУФВСУ  
(Протокол № 5 от 6 сентября 2012 г.)*

*Ученым советом факультета здоровья, физического воспитания,  
туризма и менеджмента НУФВСУ  
(Протокол № 1 от 27 августа 2012 г.)*

ISBN

© Ю. В. Литвиненко, 2012

815162

# СОДЕРЖАНИЕ

---

|  |    |
|--|----|
| Введение .....   | 4  |
| Системы регистрации и анализа техники<br>спортивных движений .....   | 7  |
| Алгоритм работы с оптико-электронной системой<br>регистрации и анализа двигательных действий<br>тела спортсмена «Qualisys» ..... | 27 |
| Алгоритм работы с оптико-электронной системой<br>регистрации и анализа двигательных действий<br>тела спортсмена «OptoJump» ..... | 38 |
| Вопросы и задания для самоконтроля .....   | 48 |
| Использованная и рекомендованная литература .....  | 51 |

# ВВЕДЕНИЕ

---

Длительное время в системе спортивной подготовки особое внимание уделялось повышению уровня физической подготовленности атлетов. Для эффективного решения этой важной задачи использовали самые передовые технологии, в практику внедрялись последние достижения научно-технического прогресса.

В настоящий момент при сложившейся острой конкуренции на международной спортивной арене поиск путей реализации двигательного потенциала спортсменов экстра-класса является одной из наиболее актуальных проблем, решение которой сводится к изучению двигательных действий спортсменов. Этому вопросу было посвящено большое количество научных трудов. С практической стороны изучение спортивной техники и разработка ее инновационных моделей основывались на эмпирическом познании — путем проб и ошибок. Имея негативные последствия для спортивной карьеры отдельных спортсменов, в случае выбора неэффективного способа движения данный подход все же зарекомендовал себя с позитивной стороны, поскольку в такой способ были разработаны и с успехом апробированы рациональные образцы спортивной техники в различных видах спорта.

Процессы формирования и совершенствования спортивной техники нередко строились с учетом преемственности знаний и передачи опыта от тренера к спортсмену без нужных подтверждений правильности выбранного пути, что имеет место до сегодняшнего дня и является предметом постоянных дискуссий среди тренерского состава.

Однозначного решения данной проблемы нет. Вместе с тем для улучшения процесса совершенствования спортивной техники необходимо понимать не только качественную сторону исполнения технического элемента, но и владеть количественной информацией о нем. Воссоединение качественной и количествен-

ной сторон позволят тренеру системно взглянуть на спортивную технику.

Привлечение из других сфер деятельности человека оптических, а позже оптико-электронных технологий, фиксирующих происходящие события в пространстве и во времени, в область анализа двигательных действий тела человека разрешило данную проблему.

Применение оптических методов регистрации движения, в частности фото-, киносъемки, методов многократной экспозиции (стробосъемка, циклосъемка, хроносъемка и др.) в спортивной деятельности значительно расширили представления о технике двигательных действий. Теперь внешнюю картину движения можно было многократно просматривать, использовать для обучения наглядные материалы (фото- и кинограммы), оценивать технику каждого спортсмена как с качественной, так и количественной стороны. Основными проблемами были доступность данных методов, их точность. Наибольшим недостатком была быстрота получения фото- и киноматериалов, что связано с трудоемкостью их обработки: проявлением пленки, закреплением, сушкой, фотопечатью, хранением и др.

С появлением оптико-электронных методов многие вопросы отпали сами собой, а качество получаемой информации повысилась.

Оптико-электронные методы основаны на преобразовании светового потока видеоизображения в электрический сигнал. В этих методах используется такое физическое явление, как фотоэффект (свойство вещества испускать электроны под действием электромагнитного излучения, например светового потока). К устройствам, использующим явление фотоэффекта, относятся широко распространенные в спорте фотофиниш, различные измерители скорости и др.

Основными элементами таких устройств являются оптронные пары, которые состоят из источника сфокусированного направленного светового потока и чувствительного элемента светоприемника — фотосопротивления или фотодиода. Диод реагирует на разную степень освещенности. Оptrонные пары позволяют строить разной степени сложности измерительные устройства,

которые позволяют получать количественные показатели о технике движения спортсмена и отдельных его биозвеньев.

В настоящий момент оптико-электронные методы с успехом используются при формировании и совершенствовании техники двигательных действий спортсменов, ее анализе и разработке наиболее рациональных образцов.

Представленный материал в настоящих методических рекомендациях, содержащий обобщенную информацию о современных оптико-электронных системах регистрации и анализе спортивной техники, может быть использован в учебном процессе для студентов и магистрантов, обучающихся по направлению «Биомеханика спорта», а также в процессе повышения квалификации тренеров.



## СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА ТЕХНИКИ СПОРТИВНЫХ ДВИЖЕНИЙ

---

Анализируя современные системы регистрации техники двигательных действий тела человека и его отдельных биоэлементов, необходимо указать, что существующие разработки, хотя и работают по схожему принципу, имеют специфические конструкторские и технические особенности, которые определяют, для чего они предназначены, возможную сферу применения, их преимущества и недостатки по сравнению с другими подобными системами.

Наиболее распространенным является метод видеосъемки. В видеокамере оптическое изображение преобразуется в электрический сигнал, величина которого в каждый момент времени соответствует яркости отдельных элементов изображения.

Стандартная частота съемки 25 кадр-с<sup>-1</sup>. В спортивной практике в зависимости от специфики вида спорта применяются видеокамеры, частота съемки которых достигает до 1000 кадр-с<sup>-1</sup> и выше.

Современные камеры позволяют производить видеозапись на цифровой носитель. Одним из первых таких носителей стали кассеты формата mini DV. Его введение ознаменовалось новым этапом в развитии систем видеорегистрации, повысилась качество изображения, точность получаемой информации. Компактные формы и относительно невысокая стоимость сделали метод видеосъемки общедоступным и незаменимым инструментом для тренера в педагогическом процессе.

Дальнейшее развитие уже связано с использованием видеокамер, производящих запись как на диски mini DVD-R\RW, так и на встроенные или съемные карты памяти и жесткие диски.



Вне зависимости от типа используемой видеокамеры, для получения количественной информации видеозапись необходимо перенести на жесткий диск персонального компьютера (ПК) для дальнейшей обработки.

При записи видеоизображения на жесткий диск или карту памяти процедура копирования займет относительно мало времени (в зависимости от объема данных). При работе с кассетами, в том числе формата *mini DV*, продолжительность переноса информации на жесткий диск ПК будет пропорциональна длительности видеозаписи. Кроме того, возникает необходимость в специальном прикладном программном обеспечении, позволяющем осуществлять захват видеопотока. К таким программам следует отнести: «Windows Movie Maker», «Fraps», «VirtualDub», «Adobe Premiere Pro», «Ulead VideoStudio», «CamStudio», «UVScreenCamera» и др.

Оцифрованные видеоматериалы следует преобразовать в серию кадров (так называемая раскадровка), для чего применяют специальные прикладные программные обеспечения.

Полученные видеogramмы используются для качественного и количественного анализа спортивной техники.

При проведении одноплоскостной видеосъемки очень важно соблюдать все существующие метрологические нормы, позволяющие получить объективную информацию об изучаемом объекте съемки:

- На антропометрические точки тела человека (важные при анализе техники) необходимо нанести специальный маркер. Это позволяет с высокой точностью определить координаты исследуемых точек тела в различные моменты времени.

- Видеокамера должна быть установлена на штативе неподвижно для сохранения постоянного масштаба. В случае если объект движется на достаточно высокой скорости, что характерно для таких видов спорта, как велосипедный и конькобежный спорт, спринтерский бег в легкой атлетике и другие, камера должна двигаться с заданной скоростью.

- При выборе расстояния до объекта съемки камеру необходимо располагать таким образом, чтобы размеры испытуемого на видеogramме, маркеры, отмеченные на его теле, были доступны для просмотра и дальнейшего анализа. Камеру следует разместить максимально близко к выбранному объекту съемки.

Для анализа фазовой структуры спортивной техники требуется определить минимально необходимый коридор съемки, что, как правило, предполагает отдаление камеры от объекта съемки. Данное условие особенно важно для циклических видов спорта, где выполнение одного цикла двигательного действия в длину может достигать 20–30 м.

Следовательно, в зависимости от вида спорта, его специфики, скорости перемещения спортсмена расстояние до объекта съемки может колебаться от 3–4 м до 10–15 м.

- Установить нужную частоту видеосъемки, учитывая то, что максимально допустимая ошибка при проведении исследований в сфере физической культуры и спорта составляет 5 %.

Для вычисления частоты съемки необходимо определить продолжительность самой короткой из анализируемых фаз движения.

Исходя из пропорции:  $\frac{1 \text{ кадр} - 100 \%}{X \text{ кадров} - 5 \%}$  и полученного уравнения:  $\frac{1 \text{ кадр} \times 5 \%}{100 \%} = 20 \text{ кадров}$  — количество кадров для анализа са-

мой короткой по продолжительности фазы движения должно быть 20. Тогда ошибка в один кадр при определении границ фазы даст допустимую 5 %-ную погрешность расчета.

К примеру, в прыжках в длину самой короткой фазой является отталкивание, продолжительность которой у спортсменов высокой квалификации колеблется в пределах 0,1 с. Следовательно, для проведения биомеханического анализа техники прыжка в длину частота съемки должна быть не менее 200 кадр·с<sup>-1</sup>

( $\frac{0,1 \text{ с} - 20 \text{ кадров}}{1 \text{ с} - X \text{ кадров}}$ ;  $\frac{1 \text{ с} \times 20 \text{ кадров}}{0,1 \text{ с}} = 200 \text{ кадр} \cdot \text{с}^{-1}$ ). При анализе

ударных движений необходимая частота съемки будет в пределах 500–1000 кадр·с<sup>-1</sup> и более.

- Для определения масштаба перед камерой устанавливают масштабную линейку размером 1000 мм, которая должна располагаться в плоскости перемещения объекта съемки.

- Объектив камеры (его оптическая ось) должен располагаться перпендикулярно к плоскости движения испытуемого и на

уровне его общего центра масс тела с целью уменьшения искажений удаленных звеньев. В случае, когда камера размещена под углом к плоскости движения объекта съемки, будет нарушаться масштаб и, как следствие, снижаться достоверность получаемой количественной информации.

- Важным аспектом также является настройка видеокамеры с учетом освещенности места съемки. В отдельных случаях необходимо применение дополнительных осветительных ламп, направляемых на объект съемки. Особенно актуально это при использовании «спортивного режима» съемки, поскольку при увеличении скорости затвора объектива камеры, т. е. увеличении выдержки (shutter speed value), количество попадаемого в него света (экспозиция) уменьшается.

Правильный выбор параметров позволяет избежать размытости изображения и повысить его четкость, что определяет возможность точного снятия координат исследуемых точек тела.

При выборе одноплоскостной съемки в качестве основного метода регистрации двигательных действий тела человека необходимо учитывать, что непосредственный анализ спортивной техники возможен с одной из трех сторон относительно испытуемого (сбоку, сзади или спереди, а также сверху). Опорно-двигательный аппарат тела человека устроен таким образом, что преимущественное большинство движений имеют вращательный тип, а это не позволяет полноценно анализировать двигательное действие всех частей тела спортсмена в одной плоскости.

К примеру, при биомеханическом анализе техники ходьбы (камера установлена сбоку от спортсмена) вероятность допущения каких-либо неточностей в определении координат исследуемых точек тела высока. Так, в процессе ходьбы движение верхних конечностей, в частности в плечевых суставах, кроме поочередного сгибания и разгибания могут выполнять пронацию и супинацию. В этом случае практически невозможно сохранить перпендикулярность оптической оси объектива камеры к плоскости движения этих биозвеньев, что сопровождается нарушением масштаба и искажением значений искомым координат исследуемых антропометрических точек тела. В свою очередь, это влечет за собой внесение погрешностей в определении пройденного пути, скорости,

ускорения данной точки, угловых характеристик, где эта точка может быть задействована. Аналогичная ситуация может сложиться и с нижними конечностями (особенно со стопой, где количество степеней свободы по отношению к тазобедренному суставу позволяет также без затруднений выполнить отведение (приведение) или пронацию (супинацию) и тем самым изменить угол между линией движения стопы и оптической осью объектива камеры.

При проведении одноплоскостной съемки спереди (сзади) относительно объекта съемки кроме указанных требований необходимо, чтобы пространство, в котором перемещается испытуемый, было максимально «часто масштабировано».

Перечисленные выше требования указывают на явные ограничения в применении данного метода для ряда видов спорта, а именно: все виды метаний в легкой атлетике, некоторые виды в спортивной гимнастике, фигурное катание, спортивные танцы, единоборства, игровые виды спорта и др.

Таким образом, анализ спортивной техники с помощью одноплоскостной съемки проводят преимущественно в циклических видах спорта. В других видах видеодокументации, полученные при помощи одноплоскостной съемки, могут стать полезным материалом для тренера и спортсмена для качественного анализа спортивной техники, возможен также частичный биомеханический анализ (отдельных поз, исходных или граничных положений, коротких фаз).

Решение данного вопроса заключается в использовании двух- или трехплоскостной съемки. Расстановка камер при этом будет зависеть сугубо от специфики вида спорта.

Например, для регистрации техники метания молота и диска и толкания ядра камеры необходимо установить с двух сторон таким образом, чтобы оптические оси их объективов располагались друг к другу перпендикулярно. Третью камеру размещают над сектором для метания. Оптическая ось этой камеры также должна быть под углом  $90^\circ$  к сектору и совпадать с его геометрическим центром (зенитная съемка). Наиболее важной задачей является синхронизация всех камер, что обеспечивается за счет дополнительных устройств.

Подобный подход позволяет получить достаточно объективную информацию о технике исследуемой локомоции.

Ручная обработка видеogramм весьма длительный и трудоемкий процесс. Вопрос необходимости подачи срочной информации для тренера и спортсмена о спортивной технике достаточно остро был поднят еще в конце прошлого столетия, на фоне чего и были разработаны первые компьютерные программы по обработке видеogramм.

На кафедре кинезиологии Национального университета физического воспитания и спорта Украины под руководством профессора А. Н. Лапутина была разработана автоматизированная система обработки видеogramм (АСОВ), которая впоследствии была взята за основу для разработки последующих подобных отечественных программных продуктов, к которым относится и «Bio Video» (Хмельницкая, 2001).

В настоящее время получение количественной информации о технике двигательных действий тесно связано только с использованием специализированных прикладных программ. К их числу следует отнести «QVA», «Silicon Coach», «Simi Twinner Pro» «Dartfish» и др.

Подобные программы работают, как правило, по схожему принципу. Основное отличие может заключаться лишь в том, что не все программные продукты могут обрабатывать видеogramмы с двух и более камер, предоставляя при этом количественную информацию с двух или трех плоскостей пространства.

Такие программы, как «Bio Video», «Silicon Couch», «Simi Twinner Pro», «Tracker», «DV Reference» и другие, позволяют одновременно обрабатывать видеоматериалы только с одной камеры и определять при этом следующие кинематические характеристики в одной плоскости:

- *пространственные* — координата исследуемой точки, путь и перемещение пройденной точки, ее траектория, углы в суставах;
- *временные* — момент времени, длительность движения, а также дополнительно определить темп и ритм движения;
- *пространственно-временные* — линейная скорость исследуемой точки тела или ЦМ биозвена, линейное ускорение исследуемой точки тела или ЦМ биозвена, угловая скорость и ускорение биозвена.

В некоторых случаях разработчик предусматривает расчет механической энергии для биозвеньев (кинетической при посту-

пательном и вращательном движении, потенциальной и полной механической).

Работа с подобными программами имеет схожий алгоритм.

Так, после открытия программы (или ее модуля) необходимо создать новый документ под конкретного испытуемого. В этом случае требуется ввести его личные данные (фамилия, имя, отчество), рост и масса тела, необходимые для расчета некоторых характеристик, таких, как механическая энергия, вид спорта (или род занятий), квалификация, стаж занятий, примечания. Отдельно необходимо указать частоту, с которой была произведена видеосъемка.

После чего пользователю предлагается выбрать исходные файлы (видеограммы) для дальнейшей обработки.

Следующий этап работы с программой заключается в определении масштаба изображения. В соответствующем модуле или вкладке программного обеспечения пользователю необходимо на одном из ранее выбранных кадров отметить масштабную линейку и с обеих сторон (на отметках 0 и 1000 мм) кликами левой кнопки мышки установить маркеры. Ввод этих данных позволяет рассчитать истинные размеры и определять в дальнейшем искомые биомеханические характеристики.

Для повышения точности измерений в некоторых программных продуктах требуется ввести размеры масштабной линейки как по горизонтали, так и по вертикали.

Последующие действия пользователя связаны с созданием или выбором конкретной биомеханической модели тела человека.

При создании модели необходимо выбрать все биозвенья, движение которых подлежит анализу. Конструирование модели происходит посредством создания точки, присвоения ей соответствующего имени (например, по одноименному названию антропометрической точки), определения последовательности ее соединения с последующей точкой, сохранения в отдельный файл.

Данная операция позволяет индивидуализировать и упростить процесс биомеханического анализа в зависимости от выбранной локомоции и задач, стоящих перед пользователем.

Например, при анализе ходьбы специалисты часто обращают внимание на специфику перемещения нижних конечностей, поэтому достаточно будет сконструировать лишь модель для нижних

конечностей. Для комплексного изучения биокинематических особенностей ходьбы создают модель для всего тела человека.

После выбора нужной модели и применения ее к обрабатываемым видеogramмам следует определение координат исследуемых точек тела. Кликая левой кнопкой мышки по каждой точке пользователь производит ее идентификацию, т. е. автоматическое присвоение имени согласно применяемой биомеханической модели. Последовательность определения координат исследуемых точек тела также должна соответствовать выбранной модели, поэтому очередность выбора точки для идентификации является важным и ответственным этапом работы, обусловленным действиями пользователя.

Длительность данной процедуры зависит от частоты видеосъемки, количества обрабатываемых кадров, а также от выбранной биомеханической модели (для отдельных биоэвеньев, биоцепей или всего тела).

Определять координаты исследуемых точек тела можно как на каждом кадре, введенном в программу, так и выбранном по усмотрению пользователя. Последний вариант наиболее распространен при анализе фазовой структуры двигательного действия (определения длительности фаз; перемещения, скорости, ускорения ЦМ отдельных биоэвеньев, отдельных точек тела в каждой фазе), поскольку значительно экономит время обработки видеogramм.

В процессе их обработки предусмотрена возможность выделения фаз анализируемого двигательного действия путем назначения конкретных кадров в качестве граничных, т. е. определяющих моменты начала и завершения каждой фазы.

После определения координат исследуемых точек тела на последнем кадре программа в режиме реального времени позволяет пользователю просмотреть количественную информацию и экспортировать ее в формате текстового документа для дальнейшего статистического анализа.

Существуют также программные обеспечения предназначенные в большей степени проводить качественный биомеханический анализ. К одним из таких продуктов следует отнести «Dartfish».

Посредством этой программы можно производить не только многократный просмотр, осуществлять «стоп-кадр», замедленный показ, обратный показ, но и наложение одного видеоизображения

на другое (попытки одного и того же испытуемого или разных испытуемых), просматривать целостное движение тела человека или другого объекта (летающий мяч, ядро) в виде последовательных поз и положений на одном кадре (рис. 1).

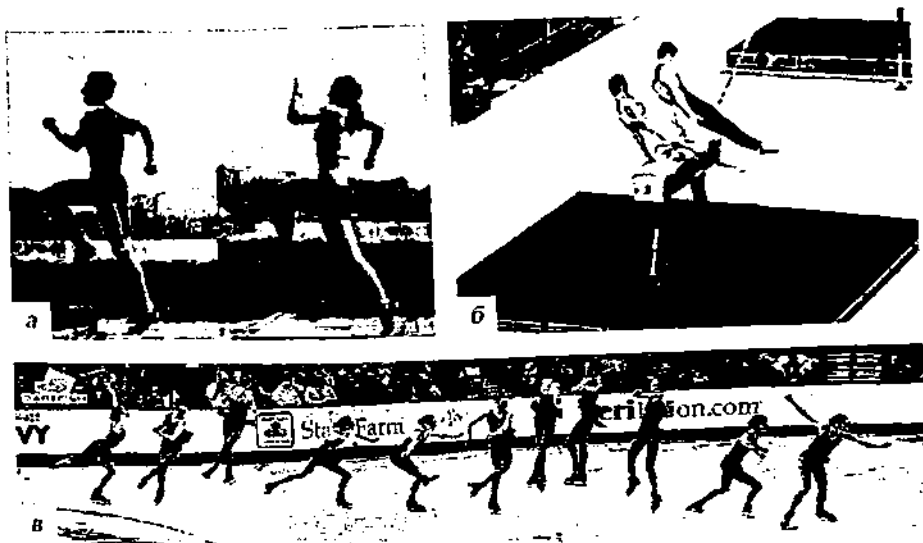


Рисунок 1 — Фрагменты видеоматериалов, полученных в программном обеспечении «Dartfish»: а — сопоставление двух спортсменов на разных кадрах; б — сопоставление двух спортсменов на одном кадре; в — представление целостного движения в виде последовательных поз на одном кадре

Кроме того, в программе «Dartfish» предусмотрена возможность определения некоторых биокинематических характеристик, таких, как путь пройденной точки, траектория, углы в суставах (рис. 2).

Преимущество подобных программных обеспечений заключается, прежде всего, в простоте использования и оперативности предоставления информации. К основным

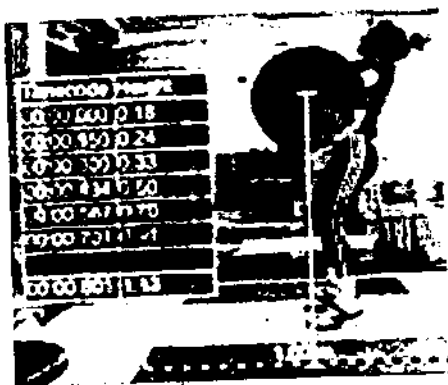


Рисунок 2 — Представление количественной информации в программном обеспечении «Dartfish»



недостаткам следует отнести ограниченное количество получаемых биомеханических характеристик, а также дороговизну.

Для получения достоверной информации о технике двигательных действий в спорте высших достижений профильные специалисты все реже и реже делают какие-либо заключения исходя из данных одноплоскостной съемки.

Некоторые производители, такие, как «APAS», «VALI», «Contemphas», «Sports-motion», «Mikromak», «SIMI Motion», при решении данной проблемы предложили системы биомеханического анализа, включающие в себя высокочастотные видеокамеры (от двух и более), а также специализированные программные обеспечения со всеми необходимыми модулями для обработки видеоизображения и получения количественной информации.

Биомеханические требования к проведению видеосъемки (с использованием названных систем) несколько отличаются от описанных ранее.

Расстановка видеокамер производится в произвольном порядке, не придерживаясь того, чтобы оптические оси камер были перпендикулярны к плоскости движения объекта съемки. Основной задачей в данном случае является выбор оптимального расстояния до объекта съемки и коридора съемки.

Системы видеоанализа позволяют определять трехмерные координаты исследуемых точек тела ( $x$ ;  $y$ ;  $z$ ), поэтому для масштабирования пространства применяется специальный предмет кубической формы (рис. 3) размером  $2 \times 2 \times 2$  м, имеющий 27 точек, выступающих в качестве пространственной системы отсчета (для программного обеспечения), расстояние от точки до точки составляет 1 м.

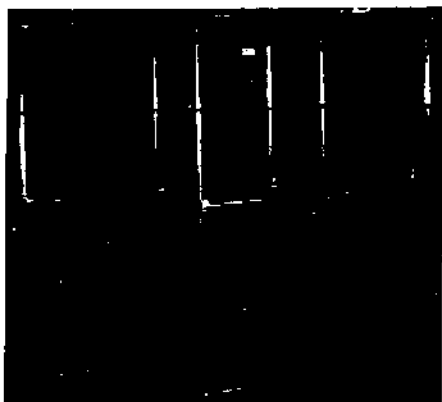


Рисунок 3 — Куб для масштабирования пространства

До проведения экспериментальных исследований куб устанавливают в зоне перемещения спортсмена. Оператор осуществляет видеозапись

продолжительностью в несколько секунд. После данной операции камеры должны оставаться в неподвижном положении с неизменными настройками цифрового или оптического «приближения — отдаления» (функция zoom). В случае перестановки камеры процедуру масштабирования пространства (новая запись видеокуба) необходимо повторить. После чего куб демонтируют с места проведения видеосъемки.

В дальнейшем видеозапись с изображением куба с каждой камеры используется в программном обеспечении для вычисления реального масштаба и определения трехмерных координат исследуемых точек тела.

Остальные метрологические требования к видеосъемке аналогичны описанным выше.

После проведения экспериментальной части исследования все видеозаписи подлежат копированию на жесткий диск компьютера и разбивку каждой видеозаписи на серию кадров.

Следующим этапом работы является создание нового файла под конкретного испытуемого (внесение его личных данных; выбор частоты, с которой производилась съемка и др.).

Далее требуется выбрать кадры (с кубом) для вычисления масштаба, отметить контрольные точки куба, после чего загрузить в программу подготовленную серию из последовательных кадров с изображением двигательного действия тела спортсмена. Эта процедура параллельно осуществляется для каждой камеры.

Когда все кадры загружены и определен масштаб, необходимо произвести синхронизацию данных, полученных со всех камер (определение системы отсчета времени).

Для определения координат исследуемых точек тела необходимо отметить все точки в нужной последовательности на каждом кадре. Эта процедура выполняется для видеogramм, полученных на всех видеокамерах. Следовательно, чем больше камер, чем выше частота съемки, тем длительней процесс обработки.

Учитывая этот факт, разработчики таких программных обеспечений предусмотрели возможность полуавтоматического определения координат исследуемых точек тела. Для этого достаточно курсором мышки отметить все точки в установленной последовательности на первом кадре (задается требуемая модель)

291518

и использовать функцию автоматической обработки. При ручной обработке важно следить за точностью попадания курсором мышки на каждый маркер, нанесенный на теле испытуемого. Создаваемая модель «запоминает» цветовую гамму маркеров, что и делает возможным дальнейшую автоматическую обработку всех последующих кадров одного видеоряда. Именно поэтому маркер должен иметь ярко выраженный оттенок относительно тела или одежды испытуемого.

В том случае если маркеры на теле человека нанесены не были, например в соревновательных условиях, то функция полуавтоматической обработки может не сработать или произведет неточную расстановку точек, после которой будет необходимым ручная доработка при непосредственном участии пользователя.

Безусловно, большее количество камер с максимальной частотой съемки дает наилучший результат в плане достоверности получаемой информации. Продолжительность обработки может при этом значительно возрасти, что следует признать большим недостатком.

К недостаткам можно отнести и то, что пользователь в ручном режиме расставляет точки на кадре с изображением тела испытуемого, что приносит некоторые неточности в определении координат.

Вместе с тем наиболее значимым преимуществом подобных систем видеоанализа является возможность их использования в соревновательной практике, где создаются все необходимые условия для реализации двигательного потенциала спортсмена и демонстрируются уникальные образцы спортивной техники.

Одними из последних новшеств в сфере разработок систем видеоанализа являются камеры, работающие по принципу инфракрасного излучения (рис. 4).

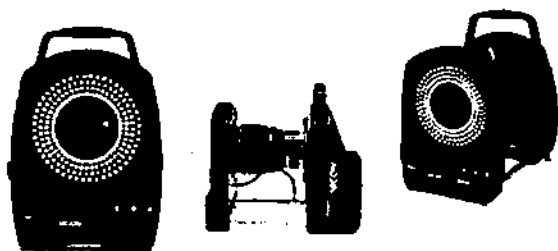


Рисунок 4 — Камеры инфракрасного излучения системы «Vicon Peak»

Перечень производителей достаточно широк. К основным следует отнести «Vicon Peak», «Qualisys», «Elite», «Primas», «OptiTrack», «BTS», «Raptor» и др.

Принципиальным отличием является то, что камеры регистрируют положение светоотражающего маркера (как точку) в пространстве, а не привычное видеоизображение. В этом и заключаются основные преимущества и одновременно недостатки использования таких систем.

Маркеры принято разделять на: пассивные (только воспринимающие и отражающие луч света) и активные (самостоятельно излучающие луч в инфракрасном спектре).

Поскольку наличие специального маркера на теле испытуемого является необходимым условием, то исключается возможность использования данных систем в соревновательной практике.

В остальном такие системы признаны наиболее точными; так как определение координат в трех плоскостях происходит в полностью автоматическом режиме в реальном масштабе времени без какого-либо участия оператора. Основной задачей последнего является правильное нанесение маркеров на тело спортсмена и корректное проведение калибровки оборудования. Заявляемая производителем погрешность при измерениях не превышает 0,01 мм на 1 м.

Измерительная система представляет собой совокупность аппаратурного и программного обеспечений. Система камер подключается к персональному компьютеру либо через сетевой кабель либо по беспроводному каналу связи (WiFi).

Индивидуально каждая камера производит двухмерную съемку. Результат одновременной работы нескольких камер позволяет получить трехмерное изображение (3D) (рис. 5).

Между собой камеры соединяются одним информационным кабелем, поэтому данные, поступающие на компьютер пользователя, представляются одним файлом как результат синхронной работы всех камер (независимо от количества камер в системе). Для получения трехмерной координаты исследуемой точки тела (маркера на теле спортсмена) производитель рекомендует использовать не менее трех камер. Общая схема подключения камер представлена на рисунке 6



Рисунок 5 — Демонстрация трехмерного изображения в окнах программного обеспечения «Areta» фирмы производителя «OptiTrack»

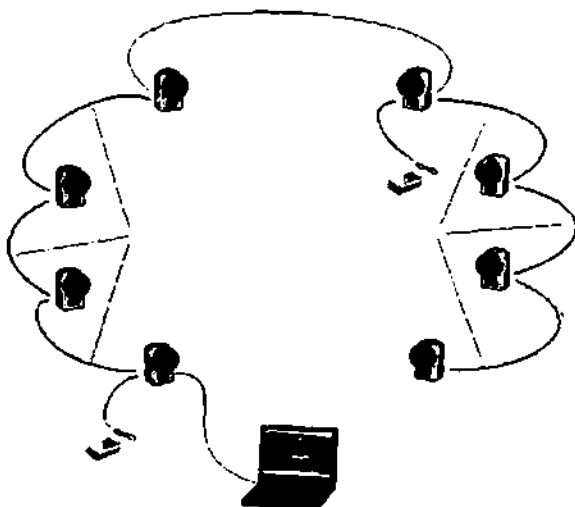


Рисунок 6 — Схема подключения камер на примере системы «Qualisys»

Установка камер достаточно произвольный процесс, зависящий лишь от необходимости создать максимальную зону захвата. Поэтому чем больше камер в системе, тем больше пространство для выполнения движения спортсмену (рис. 7).

Камеры инфракрасного излучения подают сигнал с заданной частотой (луч в инфракрасном спектре), который, достигая светоотражающего маркера, отражается от него и попадает обратно в камеру — определяются двухмерные координаты маркера. Процесс «излучения» является циклическим, а его частота задается пользователем, что и определяет частоту съемки. -

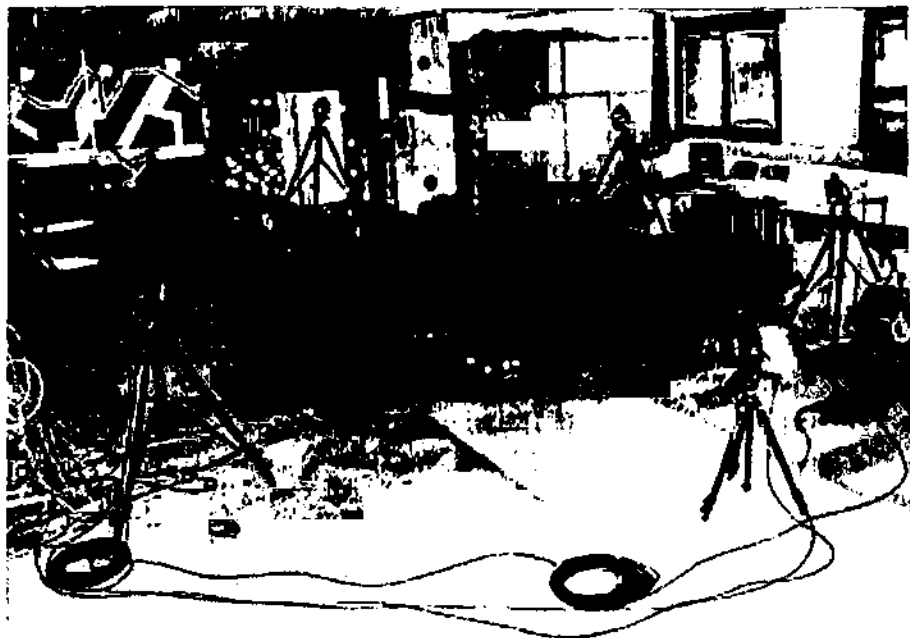


Рисунок 7 — Расположение камер системы «Vicon»

Для вычисления трехмерной координаты маркера необходимо, чтобы он одновременно попадал под зону «излучения» не менее двух камер. Поэтому маркеры имеют сферическую форму (в случае расположения камер спереди и сбоку по отношению к маркеру, его координаты будут получены одновременно с двух камер и будет произведен расчет трехмерных координат) (рис. 8).

Важным при определении координат является так называемая калибровка оборудования, позволяющая определить пространственную систему отсчета и произвести масштабирование пространства.



Рисунок 8 — Пассивные светоотражающие маркеры

С этой целью применяются специальные приспособления (рис. 9).

Статический треугольник устанавливается в зоне съемки и находится там до завершения процесса калибровки. Благодаря этому прибору определяется система координат и направление ее осей ( $x$  — ось;  $y$  — ось;  $z$  — ось).

В масштабируемой зоне пространства оператор динамическим прибором «Wand» выполняет вращательные движения — калибрует систему. Продолжительность калибровки зависит от величины масштабируемой площадки, чем больше площадь, тем больше требуется времени. Практика показывает, что эта продолжительность колеблется от 15–20 с до 1 мин.

Следующей важной операцией является нанесение маркеров на антропометрические точки тела испытуемого. В современной литературе имеется достаточно информации по данному вопросу. Взгляды и подходы по этой проблематике, как правило, не противоречат, а дополняют друг друга. Важно знать, что от правильности нанесения маркеров будет зависеть построение модели и определение количественной информации.

На рисунке 10 представлена схема нанесения маркеров на тело испытуемого, рекомендуемая производителями.

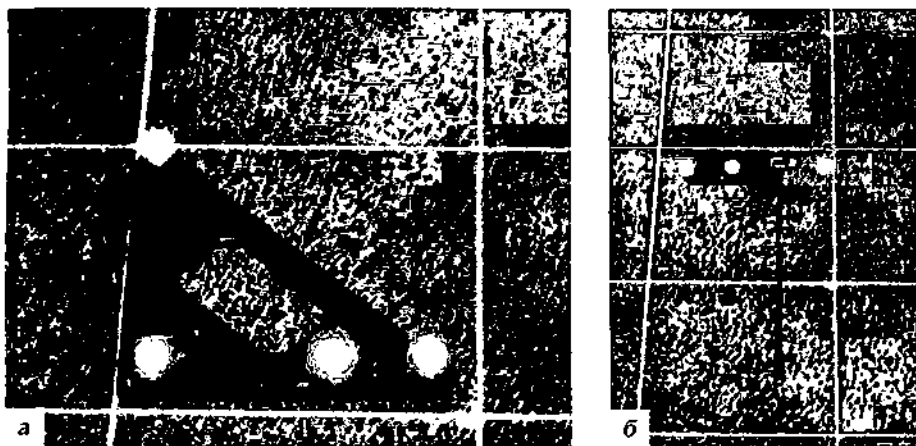


Рисунок 9 — Прибор для калибровки оптико-электронных систем, основанных на использовании камер инфракрасного излучения: а — статический объект «L-frame»; б — динамический «Wand»

Все операции, производимые пользователем по настройке системы, установке частоты съемки, калибровки, проведения съемки, получения количественной информации, происходят сугубо через специальное программное обеспечение, установленное на компьютере пользователя.

Количественная информация, получаемая при помощи таких систем весьма многообразна, а учитывая возможность подключения и синхронизированной работы дополнительных методик (тензоплатформы, электромиографы), ее спектр значительно расширяется.

Такой подход позволяет оценить двигательное действие не только с позиции внешней формы движения, но и учесть действие регистрируемых сил, специфику работы отдельных мышечных групп и др.

Недостатком таких систем является зависимость от освещенности места съемки. Солнечные лучи, направленный свет прожекторов распознается камерами как отражение от маркеров, в результате чего появляются блики и работа с системой становится практически невозможной.

В самых последних версиях оптико-электронных систем регистрации и анализа двигательных действий тела спортсмена эта проблема устранена. Съемка стала возможной в солнечный день на открытом воздухе. Кроме инфракрасной съемки производители также предусмотрели возможность высокочастотной видеорегистрации, что сделало эти системы универсальными.

В последних системах все чаще и чаще используют активные LED маркеры. Каждый такой маркер имеет свой ID (уникальный идентификатор) и элемент питания, что позволяет камерам безошибочно идентифицировать его в пространстве.

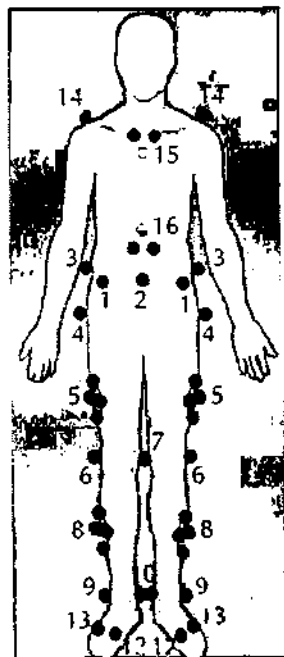


Рисунок 10 — Порядок нанесения маркеров на антропометрические точки тела человека



К системам, работающим по такому принципу, следует отнести разработки производителей «Lukotronic», «Codamotion», «Phasespace» и др. (рис. 11).

Основным недостатком подобного подхода является то, что маркеры наносятся на специальный костюм и связаны между собой проводами, что ощутимо ограничивает движения испытуемого. По понятным причинам подобные системы применяются, как правило, в лабораторных условиях.

Вместе с тем наличие персонального ID каждого маркера гарантирует точное определение координат и избегание путаницы в случае пересечения траекторий различных маркеров при выполнении двигательных действий.

Несколько иной подход регистрации техники спортивных движений предлагают такие производители, как: «Xsens», «Animazoo» «ShapeWrapIII» и др.

Решение состоит в использовании инерционных датчиков, которые крепятся к костюму или к специальным ремням (рис. 12). Предлагаемый принцип работы дает свободу передвижения, благодаря отсутствию камер.

Это мобильные системы, которые можно использовать как в помещении, так и на открытом воздухе. Беспроводной радиус



Рисунок 11 — Нанесение активных LED маркеров системы «Phasespace» на тело испытуемого

диапазона приема сигнала на открытом пространстве равняется приблизительно 150–200 м.

Системы достаточно просты в использовании, время их настройки и калибровки не превышает 15 мин.

Прикладные программные обеспечения данных систем реализуют визуализацию движений тела человека в реальном масштабе времени, выводя видеоматериал на экран монитора (рис. 13).

Исходя из проведенного анализа существующих оптико-электронных систем регистрации техники двигательных действий тела спортсмена, применяемых в практике современного спорта, можно говорить о том, что каждая система имеет как преимущества, так и недостатки по сравнению с другими системами, а следовательно, свое назначение (табл. 1).



Рисунок 12 — Система инерционных датчиков «Xsens MVN — Inertial Motion Capture» фирмы «Xsens»

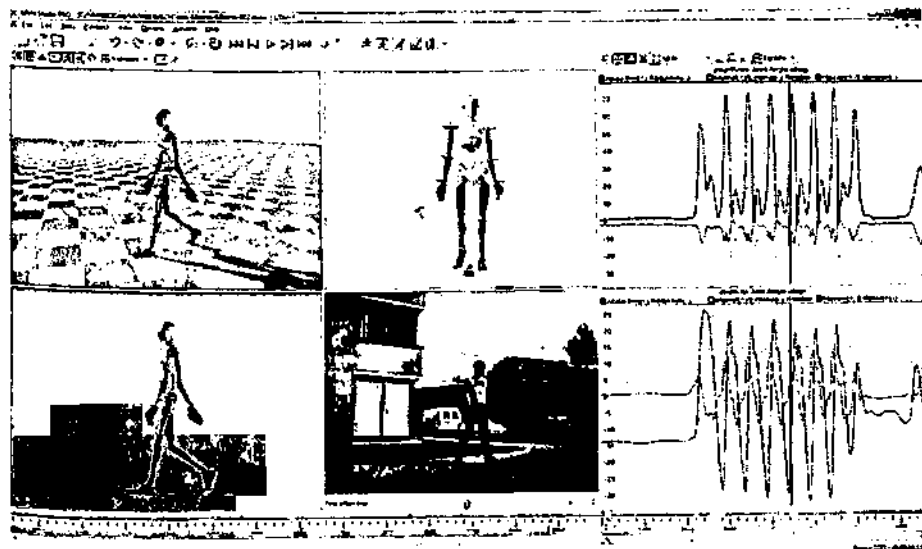


Рисунок 13 — Окно прикладного программного обеспечения «MVN Studio»

Таблица 1 — Сводная характеристика существующих систем видеонализа

| Методика  | Условия использования         | Регистрация координат точек тела в плоскостях | Распознавание маркеров            | Получение информации в реальном масштабе времени | Синхронизируемая работа с другими методами | Технические условия работы    |   |
|---|-------------------------------|---|-----------------------------------|--|--|-------------------------------|---|
|   |                               |   |                                   |  |  | обязательное наличие маркеров | спецнальное/дополнительное освещение места съемки |
| Видеосъемка   | Соревновательные/лабораторные | Двухмерные координаты                         | Ручное, с помощью специального ПО | Нет  | Нет  | Нет                           | Дополнительное                                    |
| Многоплоскостная видеосъемка  | То же                         | Двух- и трехмерные координаты                 | То же                             | То же  | То же                                      | То же                         | То же   |
| Системы видеонализа   | —//—                          | То же   | Полуавтоматические                | —//—   | Тензопат-формы, ЭМГ                        | —//—                          | —//—  |
| Система анализа на основе инфракрасного излучения камер   | Лабораторные                  | —//—  | Автоматические                    | Да   | То же                                      | Да                            | Устранение бликов                                 |
| Система анализа на основе инфракрасного излучения камер с подержкой высокочастотной видеосъемки | Соревновательные/лабораторные | —//—  | Автоматическое/полуавтоматическое | Да   | —//—                                       | Да/нет                        | Нет/дополнительное                                |

Примечание. ПО — программное обеспечение; ЭМГ — электромиография.



## АЛГОРИТМ РАБОТЫ С ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ ТЕЛА СПОРТСМЕНА «QUALISYS»

Работа системы «Qualisys» основана на принципе инфракрасного излучения камер, специфика которых представлена ранее. Рассматриваемая система включает в себя семь камер инфракрасного излучения пятой версии, программное обеспечение «Qualisys Track Manager», восьмиканальную тензоплатформу и четырехканальную электромиографию. Все оборудование синхронизировано.

Ниже представлен основной алгоритм по работе с данной системой.

1. Установить ноутбук (подключить шнур питания и сетевой кабель системы «Qualisys»).
2. Включить ноутбук и загрузить пользователя.



Рисунок 14 — Главное окно программы «Qualisys Track Manager»

3. Включить систему «Qualisys».

4. Дождаться загрузки всех видеокамер (ориентируясь на индикаторы каждой камеры).

5. Войти в программу «Qualisys Track Manager» (рис. 14).

6. В главном окне программы создать новый документ, в котором будет доступен просмотр видеоизображения с каждой камеры (режим 2D) (рис. 15).

Для перехода в режим трехмерного показа видео надо левой кнопкой мышки кликнуть на кнопку 3D, находящуюся на вспомогательной панели (рис. 16).

Если программа «Qualisys Track Manager» автоматически не обнаружила все семь камер, необходимо произвести следующую процедуру:

- проверить подключение сетевого кабеля;
- проверить все ли камеры подключены;
- выполнить в программе «Qualisys Track Manager» следующие действия: во вкладке *Tools / Workspace options / Capture / Camera system / Connection / Locate system* выбрать «Start» — программа принудительно осуществляет поиск камер (рис. 17);

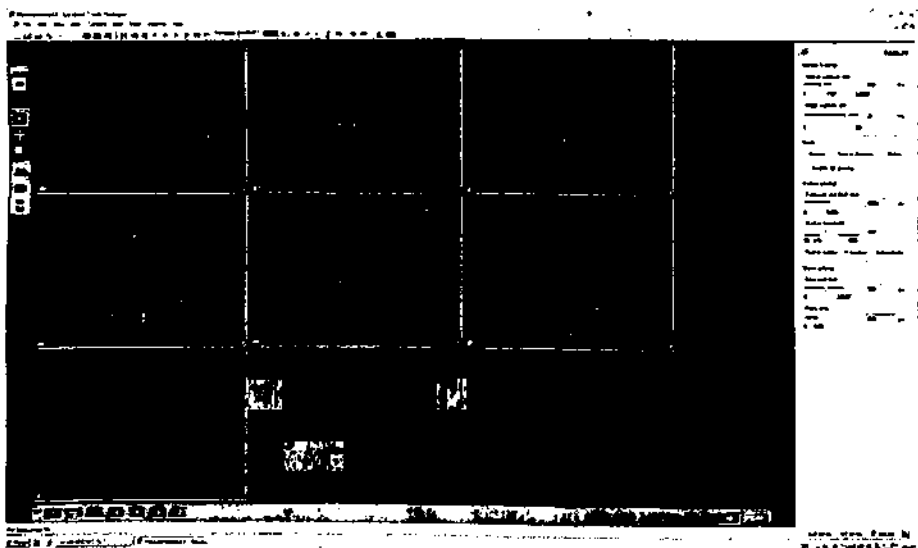


Рисунок 15 — Создание нового документа в программе «Qualisys Track Manager»

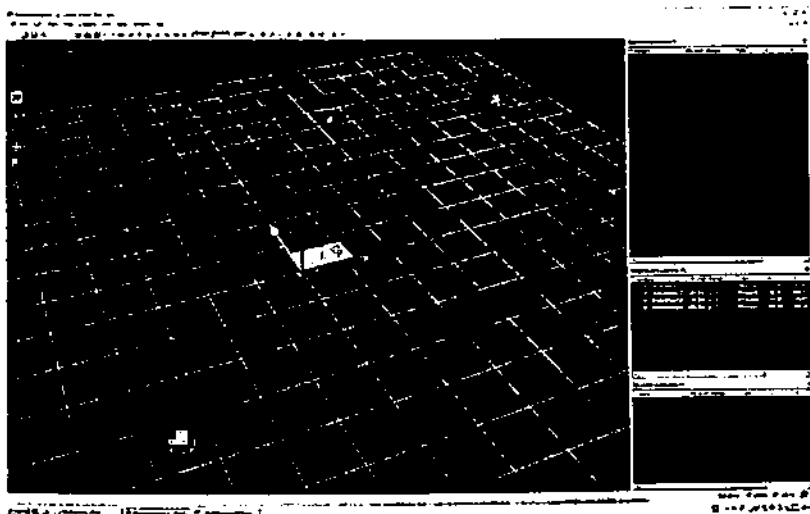


Рисунок 16 — Режим трехмерного показа видеоизображения в программе «Qualisys Track Manager»

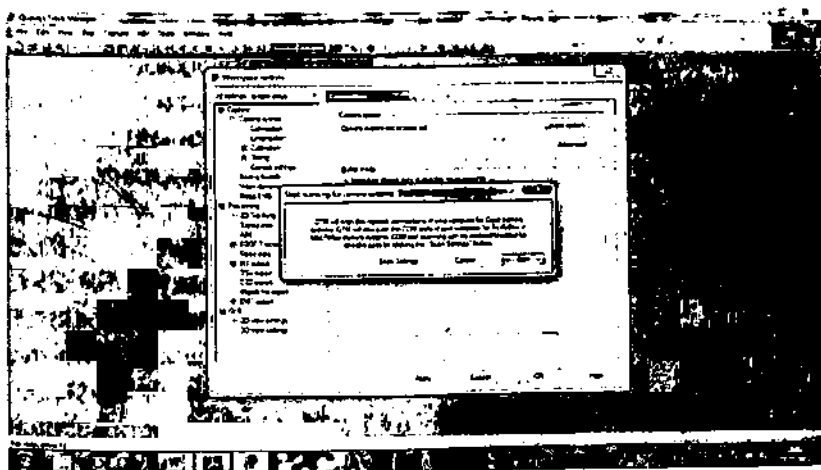



Рисунок 17 — Диалоговое окно программы «Qualisys Track Manager» поиска камер системы

- если после данной процедуры в системе не обнаружены все семь камер, то необходимо перезапустить систему Qualisys (выключить и повторно включить через 30 с) и снова произвести описанную процедуру.

7. Для выполнения калибровки системы во вкладке *Tools / Workspace options / Capture / Camera system / Calibration* выбрать необходимые параметры (установить размеры динамического прибора «Wand» — 500,7 мм или 750 мм).

8. В главном окне программы кликнуть на кнопку  (Calibration). В открывшемся окне указать длительность калибровки, при необходимости установить время задержки перед выполнением калибровки (для того, чтобы оператор успел от компьютера дойти до места, где должна осуществляться калибровка), а также звуковой сигнал, оповещающий начало и окончание калибровки (рис. 18). В зоне калибровки поместить статический предмет (L-frame). После нажатия на кнопку «Ok», выполнить калибровку системы (осуществлять круговые движения в зоне калибровки динамическим предметом (Wand)) (примечание — в зоне калибровки не должны находиться маркеры).

9. На антропометрические точки тела спортсмена нанести светоотражающие маркеры.

10. Перед проведением экспериментальной части исследования убедиться, что тензоплатформа подключена (кабель USB подсоединен к соответствующему порту компьютера, горит индикатор «Operate» на блоке управления платформой, платформа разгружена). В программном обеспечении во вкладке *Tools / Workspace options /*

*Capture / Analog boards* установить галочку в поле *USB 2533*; раскрыть вкладку *USB 2533* и включить 8 каналов (01-08 Channel), ставя галочки в соответствующих полях).

11. При использовании электромиографии «Mega EMG 6000»:

- включить методику «Mega EMG 6000»;
- на компьютере просканировать беспроводную сеть (Wi-Fi), после чего установить связь с источником «Mega EMG 6000»;

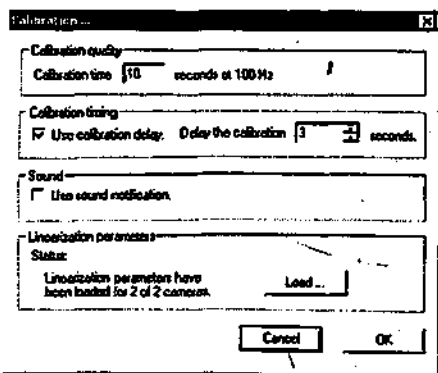


Рисунок 18 — Пример настройки основных параметров калибровки в диалоговом окне программы «Qualisys Track Manager»

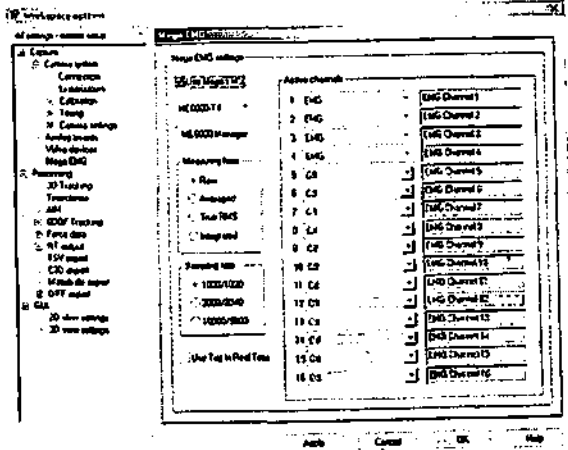



Рисунок 19 — Подключение беспроводного электромиографа «Mega EMG 6000» в программном обеспечении «Qualisys Track Manager»

- убедиться, что сигнал хороший;
- в программном обеспечении «Qualisys Track Manager» во вкладке *Tools / Workspace options / Capture / Mega EMG* установить галочку (рис. 19).

12. Для осуществления записи в главном окне программы «Qualisys Track Manager» необходимо кликнуть на кнопку  (Capture) и установить следующие параметры: частота съемки; продолжительность съемки; время задержки перед выполнением записи; звуковой сигнал, оповещающий начало и окончание съемки, и др. (рис. 20). После нажатия на кнопку «Start» будет осуществлена запись.

В программном обеспечении «Qualisys Track Manager» в режиме реального масштаба времени будет осуществлен показ происходящих действий в зоне захвата видео.

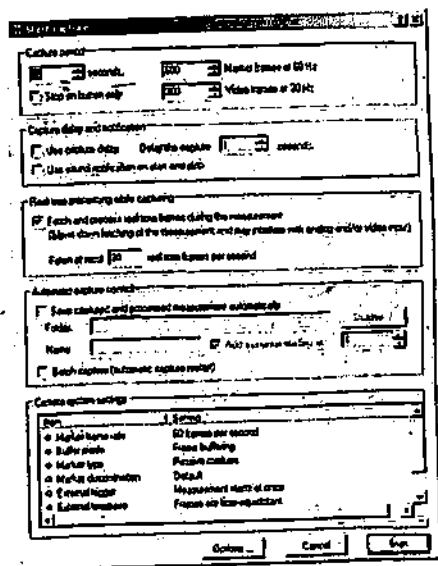


Рисунок 20 — Настройка параметров захвата видео в диалоговом окне «Start capture» программы «Qualisys Track Manager»



13. По истечении времени захвата видео оператор просматривает его и в случае успешной пробы сохраняет, присваивая определенное имя.

14. После сохранения файла маркеры, нанесенные на тело испытуемого, подлежат удалению.

Дальнейшие действия пользователя связаны с обработкой и получением количественной информацией о технике спортивных движений.

При открытии сохраненного файла, в окне программы «Qualisys Track Manager» будет показано трехмерное изображение из определенной совокупности не идентифицированных маркеров (рис. 21).

Идентификация маркеров является обязательным условием для последующего получения биокинематических характеристик. Для этого следует в поле «Unidentified trajectories» однократным нажатием и удержанием левой кнопки мышки выделить нужный маркер и переместить его в поле «Labeled trajectories». Упомянутые информационные окна программы находятся с правой сторо-

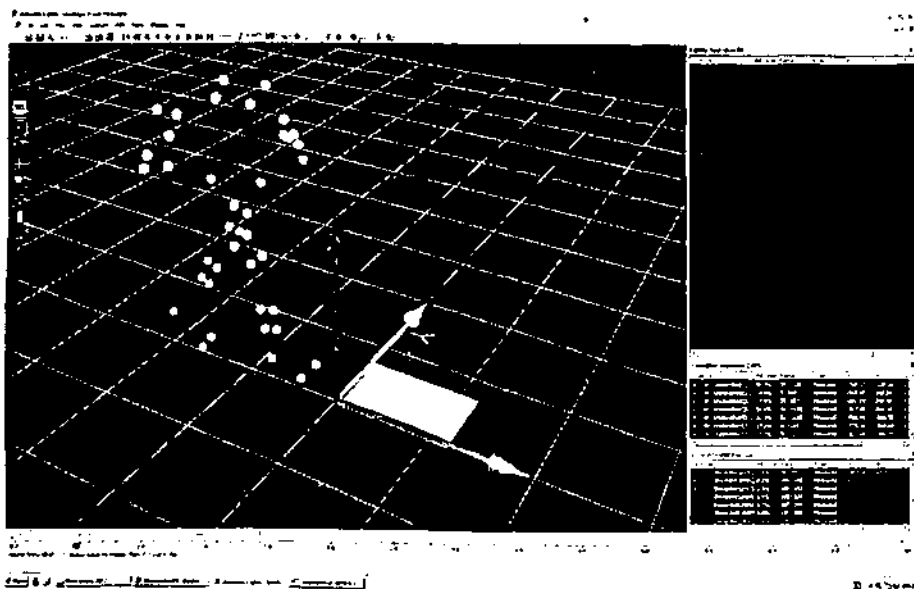


Рисунок 21 — Представление не идентифицированных маркеров в окне программы «Qualisys Track Manager»

ны развернутого окна программного обеспечения «Qualisys Track Manager».

После осуществления данной процедуры маркер изменяет свой цвет с красного на зеленый (или другой, по желанию пользователя), и ему предлагается присвоить имя. Последнее задает пользователь, либо это делает программное обеспечение в автоматическом режиме (присваивая, к примеру, имя «New 0001») (рис. 22).

Идентифицировав маркеры, можно приступить к последовательному их соединению, посредством выделения двух маркеров, и во вкладке *Edit / Bone* выбрать «Create bone», что позволит создать биокинематическую схему и упростить визуальное восприятие совокупности маркеров (рис. 23).

Поскольку процесс идентификации маркеров требует определенных затрат времени, в программном обеспечении предусмотрена возможность создания определенной модели идентификации и последовательности соединения маркеров, что значительно ускоряет процесс обработки полученных материалов.

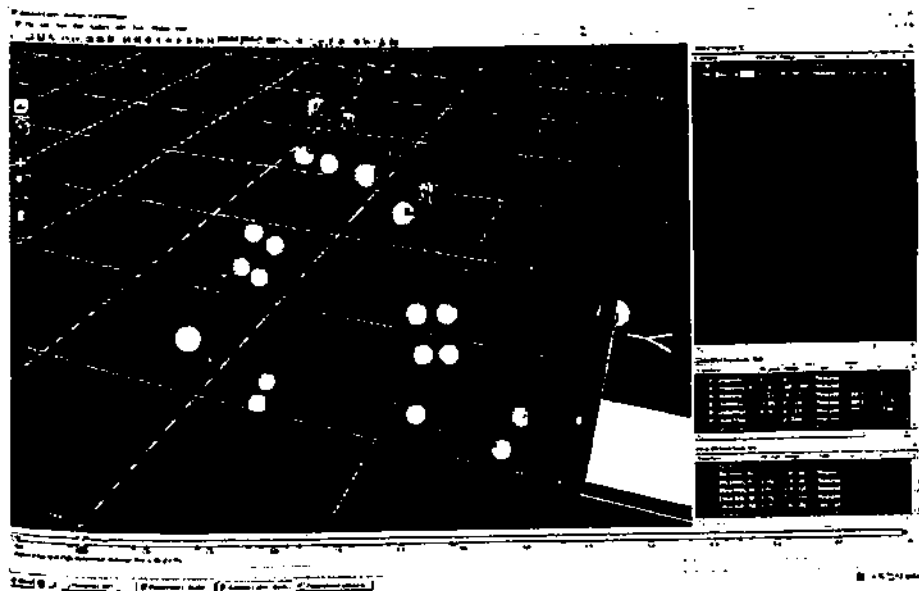


Рисунок 22 — Процесс идентификации маркеров в программном обеспечении «Qualisys Track Manager»

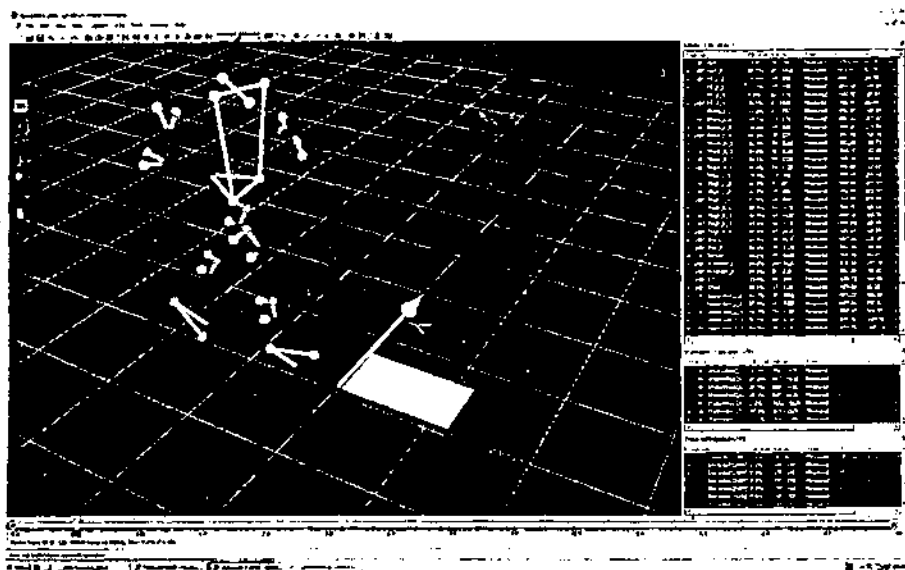


Рисунок 23 — Представление идентифицированных маркеров в окне программы «Qualisys Track Manager»

Для ее создания необходимо идентифицировать и соединить в нужной последовательности все маркеры и, пользуясь вкладкой *AIM / Generate Model*, задать имя модели, выбрать место на жестком диске компьютера, где она будет храниться, и нажать на кнопку «Save».

В дальнейшем данная модель может быть использована для автоматической идентификации аналогичной схемы нанесения маркеров (вкладка *AIM / Apply model* — выбрать нужную модель из списка и применить ее, нажав на кнопку «Ok»).

Производитель программного обеспечения «Qualisys Track Manager» предусмотрел возможность определения следующих биокинематических характеристик: трехмерные координаты маркера, мм; линейные скорость,  $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$  и ускорение,  $\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$ ; расстояние от маркера до маркера, мм; углы, град и угловую скорость,  $\text{рад}\cdot\text{с}^{-1}$ ; траекторию. Есть возможность представления показателей в виде результирующих значений и их составляющих (по осям  $x$ ;  $y$ ;  $z$ ).

Для получения количественной информации необходимо выбрать маркер, кликнув правой кнопкой мыши. В открывшемся окне программы обратиться ко вкладке «Analyze».

В пункте «Calculation» выбрать интересующую характеристику и представление значения (результатирующее «Magnitude» или ее составляющие «Components») и кликнуть на кнопку «Ok».

Данные будут выведены в виде графика в том же окне программы (с возможностью их экспорта в формате текстового документа), что позволяет одновременно просматривать видеоизображение и динамику изменения значений анализируемой биомеханической характеристики (рис. 24).

Для расчета расстояния от маркера к маркеру, вычисления угловых характеристик и угловой скорости необходимо выбрать несколько маркеров и выполнить ту же процедуру.

К биодинамическим характеристикам, получаемым с помощью системы «Qualisys» и синхронизированной с ней тензоплатформой фирмы «Kistler», следует отнести такие: величина силы опорной реакции (результатирующая и ее составляющие по трем осям),  $H$ ; момент силы (результатирующий и его составляющие по

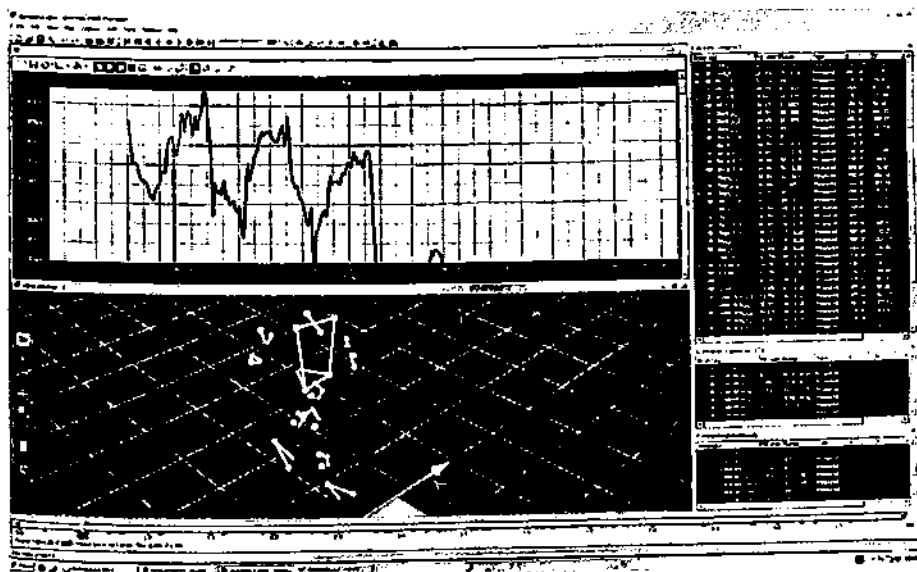


Рисунок 24 — Синхронизированная демонстрация биокинематических характеристик (на примере динамики изменения результирующей скорости маркера, нанесенного на пятый остистый отросток поясничного позвонка; локомоция — ходьба) и биокинематической схемы тела испытуемого в программном обеспечении «Qualisys Track Manager»

трех осям), Нм; точка приложения веса тела (по осям  $x$  и  $y$ ), мм. Для их получения необходимо перейти по вкладке *View / Data window info / Force data / Force plate* и выбрать нужную характеристику, которая также будет выведена на экран монитора в виде графика (рис. 25).

Электромиография «Mega EMG 6000» дополнительно позволяет получать количественную информацию об особенностях работы отдельных мышечных групп при выполнении физических упражнений, регистрируя их биоэлектрическую активность. Синхронизированная работа систем значительно расширяет представление о технике анализируемого двигательного действия, внутренней структуре двигательного акта, что способствует выявлению наиболее рациональных и эффективных вариантов построения движений, решения двигательных задач.

Определяются такие показатели: величина биоэлектрической активности скелетных мышц, мВ; моменты включения и выключения их в процессе выполнения движения; длительность работы

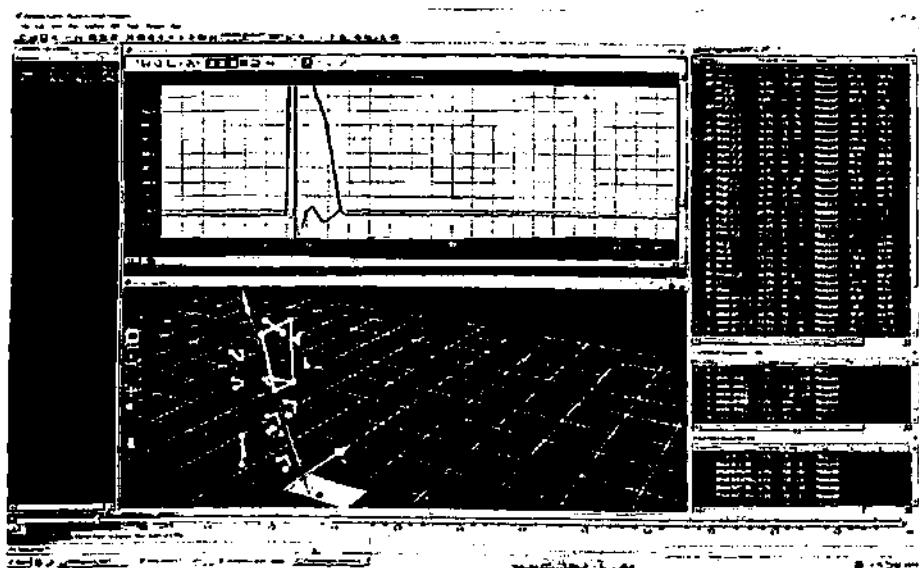


Рисунок 25 — Синхронизированная демонстрация биодинамических характеристик (на примере динамики изменения силы опорной реакции при ходьбе) и биокинематической схемы тела испытуемого в программном обеспечении «Qualisys Track Manager»

мышц, с; межмышечная координация (степень участия различных мышц в движении).

Для регистрации отмеченных характеристик необходимо перейти по вкладке *View / Data window info / Analog data / EMG Channel (1-4) / Plot... / Voltage*. На экране монитора будет представлен график биоэлектрической активности выбранной мышцы (рис. 26).

Таким образом, информация, получаемая при использовании оптико-электронной системы «Qualisys» совместно с методиками тензодинамометрии и электромиографии позволяет комплексно подойти к вопросам биомеханического анализа спортивной техники, проследить и выявить структурные элементы, взаимосвязи и закономерности построения рациональных образцов техники двигательных действий у ведущих спортсменов, что влечет за собой разработку моделей различного порядка, в перспективе используемые в качестве основных ориентиров и критериев эффективности совершенствования и повышения уровня технического мастерства спортсменов различных квалификаций.

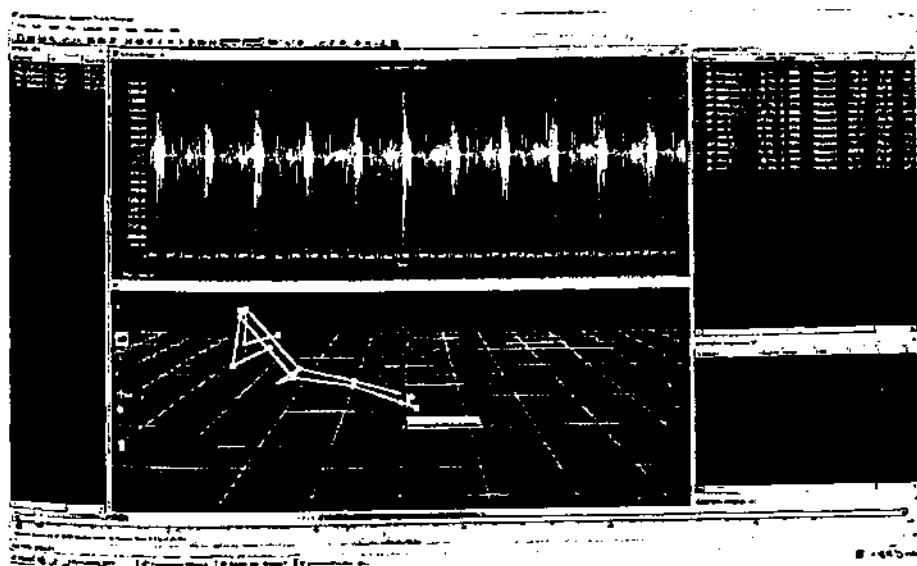


Рисунок 26 — Синхронизированная демонстрация биоэлектрической активности скелетных мышц (на примере широчайшей мышцы; локомоция — гребля на тренажерном комплексе «Concept») и биокинематической схемы тела испытуемого в программном обеспечении «Qualisys Track Manager»



## АЛГОРИТМ РАБОТЫ С ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ ТЕЛА СПОРТСМЕНА «ОРТОJUMP»

---

Одним из направлений оптико-электронных систем регистрации и анализа движения являются методики, позволяющие получить количественную информацию о спортивной технике без проведения съемки и видеоанализа.

Такие системы основаны на принципе работы оптронных пар. Они регистрируют ограниченное количество информации, но при этом просты в использовании, мобильны, характеризуются высокой точностью (до 1/1000 с во время выполнения серии прыжков) и оперативностью предоставления данных.

К одним из таких методик относится «OptoJump» — система регистрации и анализа темпоритмовой структуры техники двигательных действий спортсмена. В состав системы входят планки (измерители) длиной 1 м (рис. 27), в которых установлены оптронные пары, а также программное обеспечение с одноименным названием.

Общая длина системы может увеличиваться за счет подключения дополнительных планок и составлять 30–60 м (рис. 28).

Выполненные попытки сохраняются, создавая таким образом запись в базе данных, к которой обращаются за полезной статистикой в конце сезона или после серии тренировок. Управление персональными данными спортсмена, анализ выполненных тестов и печать полученных результатов делают комплект полезным инструментом в руках тренера, которому требуется лишь минимальные знания работы с компьютером.



Рисунок 27 — Базовый комплект оптико-электронной системы «OptoJump»

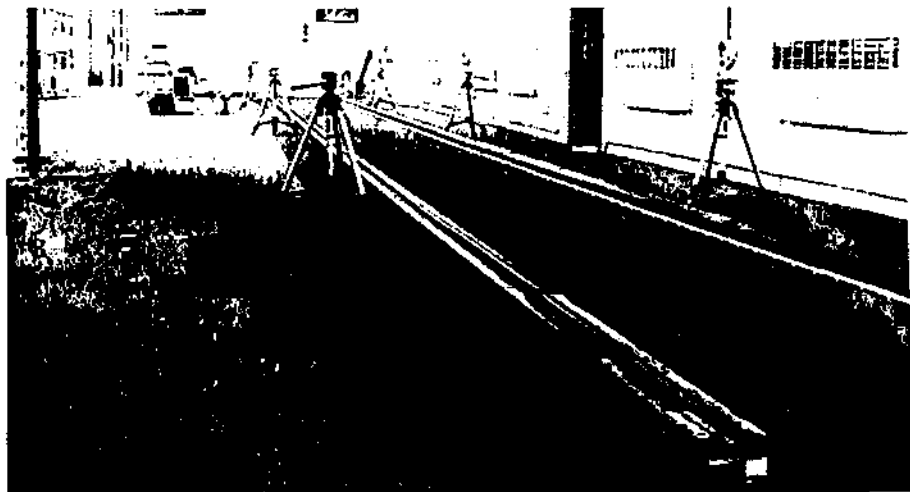


Рисунок 28 — Инсталляция системы «OptoJump» в лабораторных условиях

В практической деятельности система «OptoJump» используется для решения таких задач:

- оценка подготовленности спортсмена и его физического состояния;
- оперативное определение предрасположенности спортсмена к нагрузкам различной направленности;
- оперативный контроль тренировочного процесса;
- создание баз данных кинематических характеристик техники движений спортсменов различных видов спорта и квалификации на разных этапах подготовки;
- диагностика опорно-двигательного аппарата спортсменов после травм и разработка средств и методов реабилитации;
- отбор и ориентация спортсменов.

Производителями системы «OptoJump» предусмотрено выполнение следующих двигательных заданий:

- прыжковых тестов;
- тестов для определения латентного времени простой двигательной реакции;
- беговых тестов.

С помощью «OptoJump» возможно измерение кинематических характеристик движения, таких, как:



- длительность опорного и безопорного положения тела спортсмена, с;
- высоты прыжка (прыжковые тесты), м;
- длина бегового шага (беговые тесты), м;
- латентное время простой двигательной реакции, с;
- мощность (прыжковые тесты), Вт;
- ритм (соотношение длительностей фаз опоры и полета);
- темп (беговые тесты).

Для удобства и оперативности обработки количественного массива данных в программном обеспечении «OptoJump» предусмотрена возможность расчета ряда статистических показателей: среднее значение и стандартное отклонение.

Алгоритм проведения тестирования и регистрации кинематических характеристик движения спортсмена с помощью системы «OptoJump» представлен ниже.

1. Установить и привести систему в рабочее состояние. Для проведения прыжковых тестов и тестов для определения латентного времени простой двигательной реакции достаточно установить одно звено системы, для чего рекомендуется следовать следующим рекомендациям:

- подключить интерфейс источника питания к планке приемника RX;
- при выключенном приборе «OptoJump» разместить две планки «OptoJump» RX и TX лицевой стороной друг к другу на оптимальном расстоянии в один метр;
- подключить концы двух планок к соединительному кабелю (конец, противоположный интерфейсу источника питания);
- подключить последовательный кабель, идущий от интерфейса источника питания к последовательному порту ПК;
- если необходимо, подключить внешний источник питания к интерфейсу источника питания;
- включить прибор;
- убедиться в правильном расположении планок (свечение зеленого светодиода индикатора на планке приемника RX) (рис. 29).

В случае проведения беговых тестов необходимо установить несколько пар планок на беговой дорожке, что предполагает выполнение таких действий:

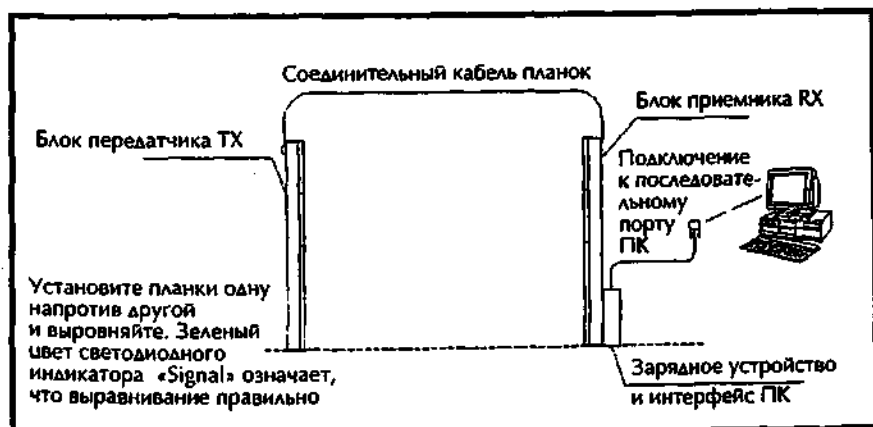
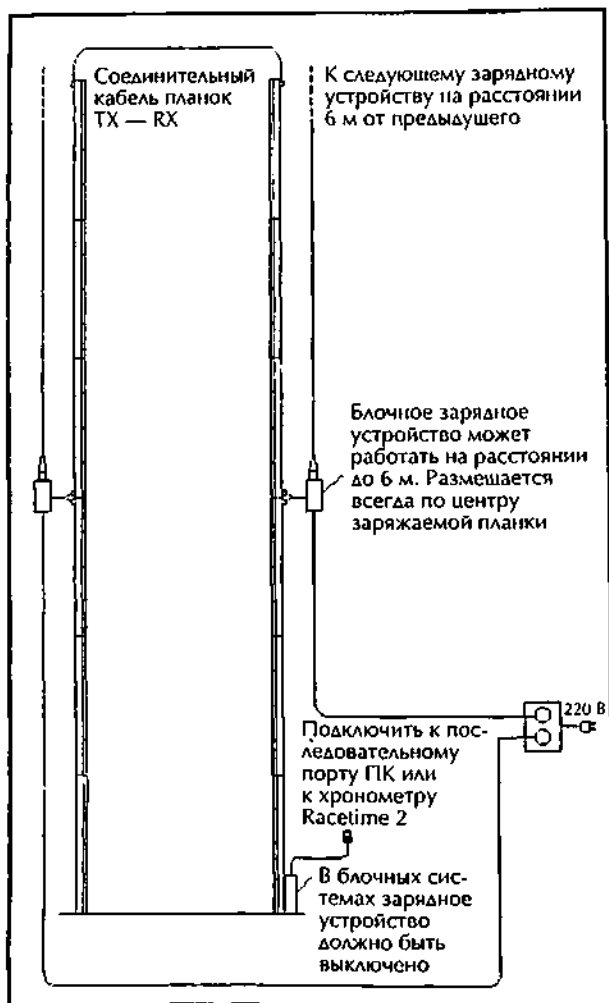


Рисунок 29 — Схема подключения системы «OptoJump» при использовании одного измерителя

- подключить интерфейс источника питания к планке RX первого измерителя;
- при выключенном приборе «OptoJump» разместить все планки RX с одной стороны, а планки TX — с другой, лицевой стороной друг к другу на оптимальном расстоянии в один метр;
- соединить короткими соединительными кабелями все планки RX и TX так, чтобы они образовывали сплошные линии;
- подключить длинный соединительный кабель к последней паре планок (конец, противоположный интерфейсу источника питания);
- подключить последовательный кабель, идущий от интерфейса источника питания, к последовательному порту компьютера (подключение внешнего источника питания к интерфейсу источника питания обеспечивает работу только двух измерителей «OptoJump»);
- если используется более двух измерителей «OptoJump», необходимо подключить блочные батареи на расстоянии 6 м от планок «OptoJump»; в этом случае следует отключить внешний источник питания;
- включить прибор;
- убедиться в правильном расположении планок (свечение зеленых светодиодных индикаторов на всех планках RX) (рис. 30).

Рисунок 30 — Схема подключения системы «OptoJump» при использовании двух и более измерителей



2. Войти в программное обеспечение «OptoJump». В главном окне программы будет открыта новая база данных, содержащая следующие основные элементы: персональные данные (Personal data), предустановленные и созданные тесты (Tests/Preconfigured test), попытки (Trials) (рис. 31).

3. Используя вкладку *Edit / Insert / Athlete* создать файл для нового испытуемого и ввести его личные данные (ФИО, дата рождения, масса, пол, фотоснимок, примечания) (рис. 32).

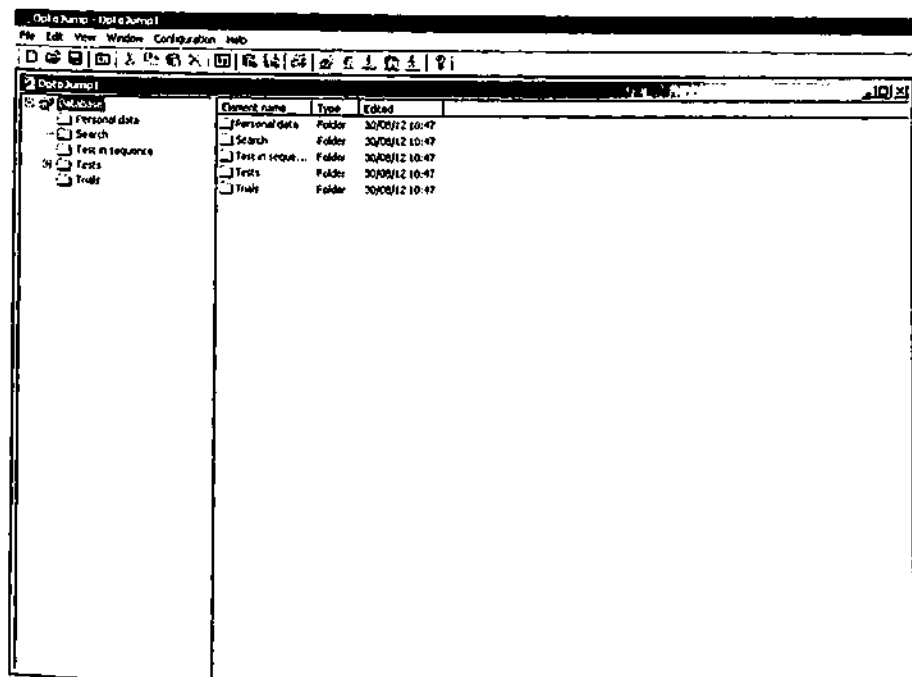


Рисунок 31 — Главное окно программы «OptoJump»

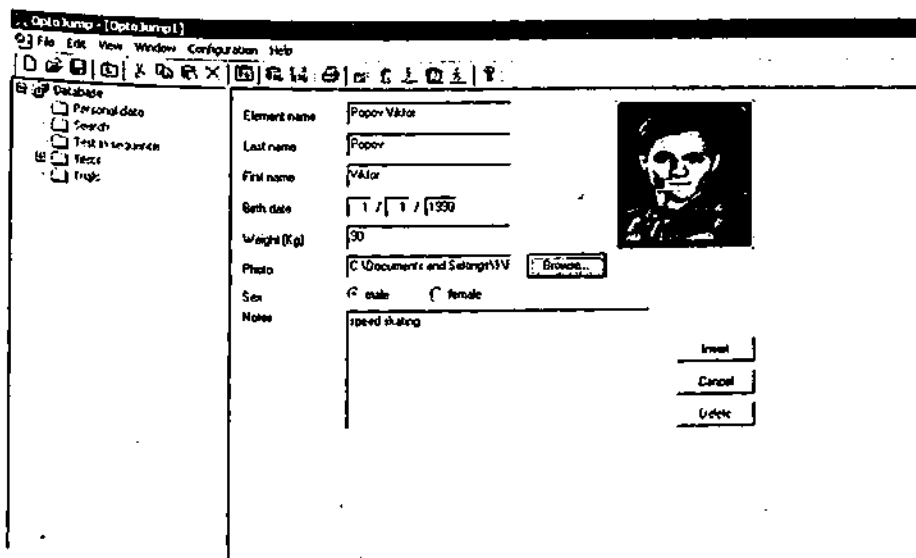


Рисунок 32 — Диалоговое окно «New Athlete» программы «OptoJump»

4. Для проведения тестирования необходимо выбрать раздел «Trials», открыть меню *Edit / Insert / Trials*. В открывшемся окне выбрать предварительно введенную запись спортсмена, а также необходимый тест из предлагаемого списка во вкладке (рис. 33).

Программное обеспечение системы «OptoJump» содержит ряд тестов: 15-, 30- и 60-секундные прыжковые тесты (15, 30, 60 sec. jumps); однократный прыжковый тест с зафиксированными (CM) и со свободными руками (CM) free arms); однократный прыжковый тест на корточках (Squat Jump); семикратный прыжковый тест с зафиксированными (Stiffness) и со свободными руками (Stiffness free arms). Детали каждого теста можно просмотреть в его свойствах.

Также предусмотрена возможность создания дополнительных тестов с заданными параметрами.

5. Ознакомив испытуемого с поставленными задачами и правилами тестирования (место исходного и конечного положений; моменты начала и завершения тестирования; обозначение звуковых или световых сигналов, сопровождающих процесс тестирования и др.), провести тестирование.

По завершении выполнения двигательного задания в окне программы «OptoJump» выводятся данные в графическом виде (рис. 34).

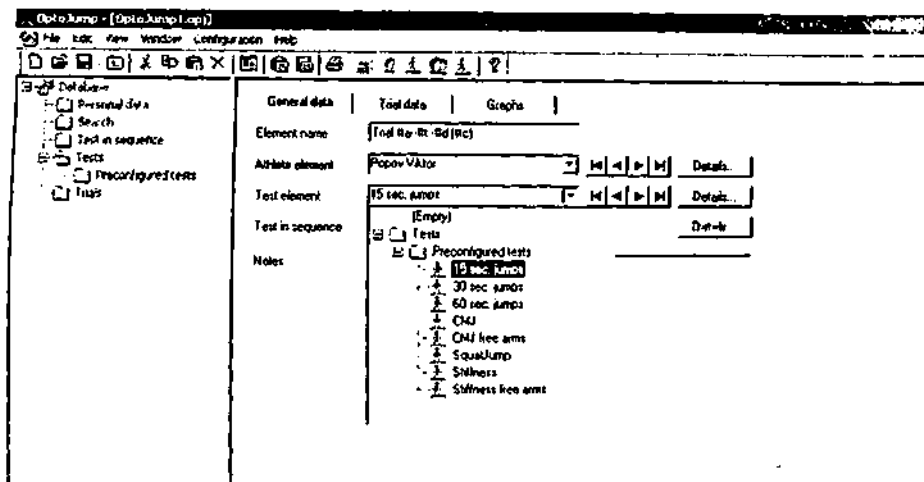


Рисунок 33 — Диалоговое окно «Trials» программы «OptoJump» при выборе теста и предварительно введенной записи спортсмена

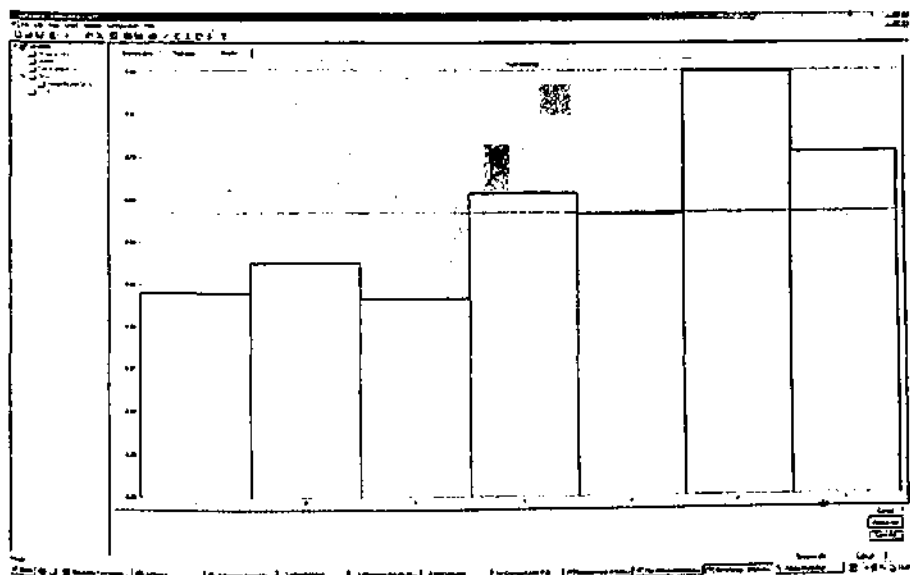


Рисунок 34 — Графическое представление результатов тестирования в окне программы «OrthoJump» (на примере длительности фаз полета в семикратном прыжковом тесте)

В этом же окне программы пользователь имеет возможность выбрать необходимую характеристику (из доступных для каждого теста индивидуально) и представить в виде графика (рис. 35).

Для отмены и удаления результатов попытки, проведения повторного тестирования или сохранения их результатов, необ-

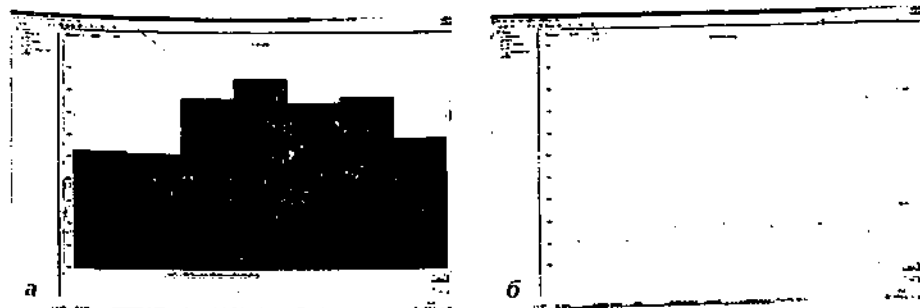


Рисунок 35 — Представление результатов тестирования в окне программы «OrthoJump» в виде графиков: а — длительность опорных фаз прыжка; б — соотношение длительности опорных к безопорным фазам прыжка

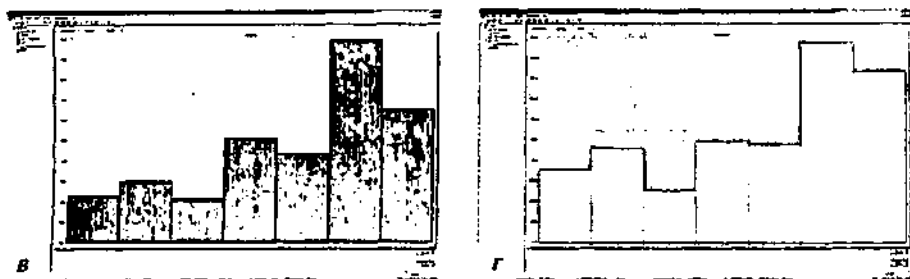


Рисунок 35 — Продолжение: в — высота прыжка; г — мощность прыжка

ходимо в правом нижнем углу окна программного обеспечения «OptoJump» выбрать одну из кнопок: «Cancel» (отмена и удаление), «Repeat trial» (повторное тестирование), «Save trial» (сохранение результатов попытки).

Результаты тестирования доступны к просмотру в числовом виде по каждой полученной биомеханической характеристике с указанием среднего значения и стандартного отклонения (рис. 36).

| Параметр | Среднее | Стандартное отклонение |
|----------|---------|------------------------|
| 1.00     | 0.00    | 0.00                   |
| 1.01     | 0.00    | 0.00                   |
| 1.02     | 0.00    | 0.00                   |
| 1.03     | 0.00    | 0.00                   |
| 1.04     | 0.00    | 0.00                   |
| 1.05     | 0.00    | 0.00                   |
| 1.06     | 0.00    | 0.00                   |
| 1.07     | 0.00    | 0.00                   |
| 1.08     | 0.00    | 0.00                   |
| 1.09     | 0.00    | 0.00                   |
| 1.10     | 0.00    | 0.00                   |

Рисунок 36 — Протокол результатов тестирования спортсмена в окне программы «OptoJump» (на примере семикратного прыжка)

По результатам многократного тестирования создается база данных, доступных к просмотру и дальнейшему анализу в любое удобное время.

Преимущества подобных систем (доступность в использовании, мобильность, оперативность получения количественной информации), а также достигаемые с их помощью результаты зарекомендовали подобные методики с положительной стороны, что нашло широкое применение в практической деятельности не только научных сотрудников, но и тренерского состава.



## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

---

1. Какое отличие между оптическими и оптико-электронными методами регистрации и анализа техники спортивных движений?
2. Какие методы исследования следует отнести к оптическим, а какие — к оптико-электронным?
3. Укажите преимущества и недостатки одноплоскостной видеосъемки.
4. Перечислите метрологические требования, предъявляемые к проведению одноплоскостной видеосъемки.
5. Каким образом рассчитать требуемую частоту съемки при анализе спортивной техники в различных видах спорта?
6. Какую частоту видеосъемки следует считать стандартной и с какой частотой способны снимать высокочастотные камеры?
7. Как произвести масштабирование пространства при одноплоскостной съемке?
8. Укажите преимущества и недостатки многоплоскостной видеосъемки. Какие метрологические требования предъявляются к ее проведению?
9. Перечислите, указывая на отличительные особенности, основные прикладные программные обеспечения, позволяющие по материалам видеogramм вычислять биомеханические характеристики спортивной техники.
10. Какой алгоритм работы с прикладными программами, которые позволяют по материалам видеogramм определять биомеханические характеристики техники двигательных действий спортсмена?
11. Какие биомеханические характеристики спортивной техники можно получить, используя метод одноплоскостной видеосъемки?

12. Какие биомеханические характеристики спортивной техники можно получить, используя многоплоскостную видеосъемку?
13. Какие существуют системы регистрации и анализа спортивной техники, основанные на методе видеосъемки? В чем их отличие от обычной видеосъемки?
14. Раскройте основные отличия в метрологических требованиях, предъявляемых к процессу регистрации техники спортивных упражнений с помощью одноплоскостной видеосъемки и систем видеоанализа.
15. Как произвести масштабирование пространства при регистрации и анализе спортивной техники с помощью систем видеоанализа?
16. Какой алгоритм проведения экспериментальной части исследования при использовании системы видеоанализа?
17. Укажите преимущества и недостатки использования систем видеоанализа.
18. Каковы основные отличия систем регистрации и анализа спортивных движений, основанных на инфракрасном излучении камер, от других систем видеоанализа?
19. Какая специфика работы систем регистрации и анализа спортивных движений, использующих камеры инфракрасного излучения?
20. Перечислите основных производителей оптико-электронных систем регистрации и анализа спортивных движений, основанных на инфракрасном излучении камер.
21. Как происходит масштабирование пространства при использовании систем регистрации и анализа спортивных движений, основанных на инфракрасном излучении камер?
22. Какой алгоритм работы с оптико-электронной системой «Qualisys»?
23. Какие биомеханические характеристики можно получить при использовании оптико-электронной системы «Qualisys»?
24. Укажите основные преимущества и недостатки оптико-электронной системы «Qualisys».

25. Перечислите возможные сферы применения в спортивной практике каждого метода видеоанализа, учитывая их преимущества и недостатки.
26. Какой принцип работы оптико-электронной системы «OptoJump»?
27. При решении каких задач в спортивной практике может использоваться оптико-электронная система «OptoJump»?
28. Какие биомеханические характеристики спортивной техники можно получить при использовании оптико-электронной системы «OptoJump»?
29. Какие виды тестов позволяет проводить оптико-электронная система «OptoJump»?
30. Какой алгоритм работы с оптико-электронной системой «OptoJump»?

# ИСПОЛЬЗОВАННАЯ И РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Кашуба В. А. Современные оптико-электронные методы измерения и анализа двигательных действий спортсменов высокой квалификации / В. А. Кашуба, И. В. Хмельницкая // Наука в олимп. спорте. — 2005. — № 2. — С. 137–146.

2. Лапутін А. М. Біомеханіка спорту / А. М. Лапутін, В. В. Гамалій, А. А. Архипов [та ін.]. — К.: Олімп. л-ра, 2005. — 320 с.

3. Платонов В. Н. Биомеханические эргогенные средства в современном спорте / В. Н. Платонов, А. Н. Лапутин, В. А. Кашуба // Наука в олимп. спорте. — 2004. — № 2 — С. 86–100.

4. Хмельницкая И. В. Биомеханический видеокомпьютерный анализ спортивных движений: метод. пособие / И. В. Хмельницкая. — К.: Наук. світ, 2000. — 56 с.

5. Platonov V. N. Biomechanical ergogenic means in modern sport / V. N. Platonov, M. M. Bulatova, V. A. Kashuba // Stiinta sportului. Academia Romana, Bucuresti. — 2006. — N 53. — P. 19–49.

6. Stergiou N. Innovative Analyses of Human Movement / N. Stergiou. — N.-Y.: Human Kinetics, 2004. — 344 p.

7. <http://www.qualisys.com>

8. <http://www.vicon.com/>

9. <http://www.optojump.com/>

10. <http://www.simi.com>

11. <http://www.xsens.com>

12. <http://www.phasespace.com>

13. <http://www.motion-capture-system.com>

14. <http://www.animazoo.com>

15. <http://www.btsbioengineering.com>

16. <http://www.zebris.de>

17. <http://www.lukotronic.com>

18. <http://www.arielnet.com>

19. <http://www.motionprosoftware.com>

20. <http://www.siliconcoach.com>

21. <http://www.naturalpoint.com>

22. <http://mocap.cs.cmu.edu>

23. <http://www.metamotion.com>

Науково-виробниче видання

**ЛИТВИНЕНКО Юрій Вікторович**

**Сучасні оптико-електронні системи  
реєстрації й аналізу рухових дій  
спортсмена**

(російською мовою)

Редактор — *Яніна Зубко*  
Комп'ютерне верстання — *Алла Богдан*

Підп. до друку 20.09.2012. Формат 60×84/16. Папір офсет.  
Гарнітура Optima. Друк офсет.  
Ум.-друк. арк. 3,02.  
Наклад 300 прим.

Видавничо-поліграфічний центр «Експрес»  
м. Київ, вул. Ежена Потьє, 16, а, тел./факс: 229-27-46  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців  
ДК № 1956 від 27.09.2004

\$,00