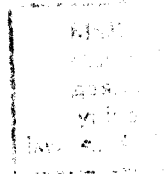


75-
3-16
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. А.А. КУЛЕШОВА

В.И. Загревский

ПРЕДМЕТ И МЕТОДЫ
БИОМЕХАНИКИ,
БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ

Методическая разработка
по биомеханике физических упражнений
для студентов факультета
физического воспитания



Могилев 2001

УДК 796.015(076)

ББК 75.1

З-14

Рецензент

Доктор педагогических наук, профессор

А.М.Радьков

*Печатается по решению редакционно-издательского
и экспертного совета МГУ им. А.А.Кулешова*

Загревский В.И.

З-14 Предмет и методы биомеханики, биомеханические методы исследования: Методическая разработка. – Могилев: МГУ им. А.А.Кулешова, 2001. – 24 с.

Методическая разработка содержит краткие сведения по одному из разделов биомеханики: предмет, задачи, методы биомеханики и биомеханические методы исследования.

Цель методической разработки – дать представление о биомеханике спорта как учебной и научной дисциплине. Адресуется студентам факультета физического воспитания.

УДК 796.015(076)

ББК 75.1

© В.И. Загревский, 2001

© Издательство МГУ им. А.А.Кулешова, 2001

1. ПРЕДМЕТ БИОМЕХАНИКИ

1.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БИОМЕХАНИКИ КАК УЧЕБНОЙ И НАУЧНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Основы определенной учебной дисциплины наиболее полно раскрываются в *предмете* и *методе* соответствующей науки.

Любая наука имеет свой предмет исследования. *Предмет* науки раскрывает:

- Что именно изучается (*объект познания*).
- Какую сторону действительности наука изучает (*область познания*).
- С какой целью изучается.

Метод науки показывает основной способ исследования, путь познания закономерностей исследуемых явлений, получения новых знаний.

Биомеханика – наука о законах механического движения в живых системах.

В биомеханике как науке можно выделить следующие прикладные направления исследования:

1. Биомеханика спорта.
2. Инженерная биомеханика.
3. Медицинская биомеханика.

Биомеханика спорта ориентирована на поиск рациональной техники спортивных упражнений, на совершенствование их кинематической и динамической структуры, на обоснование эффективной методики обучения двигательным действиям.

Инженерная биомеханика смыкается с бионикой, инженерной психологией (“человек и машина”), связана с разработкой роботов, манипуляторов и других технических устройств, умножающих возможности человека в трудовых двигательных операциях.

Медицинская биомеханика дает обоснование методам протезирования, протезостроения, травматологии, ортопедии, лечебной физической культуры.

Объект познания биомеханики – двигательные действия как системы взаимно связанных активных движений и положений тела человека.

Как наука биомеханика изучает не только движения человека, но и движения животных. Однако двигательные действия человека существенно отличаются от движений животных:

- осознанная целенаправленность движений человека;
- возможность контролировать и планомерно совершенствовать движения.

Учебный курс биомеханики направлен на изучение движений только человека, которые совершаются на высшем уровне управления ими. Именно эти особенности движений человека не имеют объяснения ни со стороны классической механики, ни со стороны биологических наук.

Как отмечает основоположник отечественной школы биомеханики Н.А.Бернштейн: “В норме человек производит не просто движения, а всегда действия”. *Действия* человека всегда имеют цель, определенный смысл. Из действий человека, как из кирпичиков движений, складывается его *двигательная деятельность*. Двигательные действия, составляющие двигательную деятельность, осуществляются посредством *целенаправленных активных движений*. Именно *активные движения человека* (а также *сохранение положений тела*) являются *объектом изучения биомеханики*. И здесь следует отметить, что активные движения изучаются как *системы* движений в двигательных действиях человека.

Область изучения биомеханики – механические и биологические причины возникновения движений и особенности их исполнения в различных условиях.

Причины возникновения движений человека и причины их изменения необходимо рассматривать как с позиций *механики*, так и с точки зрения *биологии*, учитывая роль человеческого сознания в *управлении* движениями.

Механическое движение в живых системах, в частности, в движениях человека проявляется:

- в передвижении биосистемы относительно внешней среды;
- в деформации самой биосистемы – перемещение одних ее частей относительно других.

Движения абсолютно твердых тел, которые не деформируются, описываются основными законами Ньютона. В живых же системах

работа *внешних сил* (тяжести, трения, сопротивления внешней среды и др.), а также *внутренних сил* (тяги мышц) расходуется и на деформацию опорно-двигательного аппарата.

Действие внутренних сил обусловлено *управлением* со стороны центральной нервной системы. Поэтому для корректного описания закономерностей движений человека недостаточно ограничиться изучением непосредственно механики движения, но и необходимо рассмотрение биологической сущности организации действия внутренних сил в исследуемом двигательном действии. Именно управление движениями с помощью внутренних сил обеспечивает высокую эффективность двигательных действий в различных условиях исполнения.

Закономерности функционирования мышечного аппарата тела человека определяются рядом особенностей (зависимость “сила-скорость”, зависимость “сила-суставной угол”, инерционность процесса мышечного напряжения и т.п.), которые необходимо учитывать при построении движений. Все это не является предметом исследований в классической механике и поэтому содержание биомеханики существенным образом отличается от классической механики.

3

Цель изучения биомеханических закономерностей двигательных действий человека заключается:

- в оценке эффективности действия приложенных сил для более *совершенного решения двигательной задачи*;
- в выявлении возможностей и путей *совершенствования* техники спортивных упражнений;
- в научном обосновании *рациональной методики обучения* двигательным действиям на основе биомеханического анализа техники исследуемых упражнений.

Цель изучения учебного курса биомеханики на факультете физического воспитания:

- ознакомить студентов с общими основами биомеханики как науки о движениях человека;
- дать необходимые сведения по биомеханическому обоснованию использования физических упражнений в физическом воспитании;
- вооружить знаниями, необходимыми для эффективного применения физических упражнений в качестве средства физического воспитания, повышения технического мастерства и уровня спортивных достижений.

Биомеханика, как наука о движениях человека, основывается на системно-структурном подходе к пониманию двигательных действий, который позволяет:

1. Рассматривать тело человека как *движущуюся систему*.
2. Рассматривать процесс движения как *развивающуюся систему*.

В теории структурности движений заложены следующие основные принципы:

1. Принцип *структурности* построения систем движений – все движения в системе взаимосвязаны, что определяет целостность и совершенство действия.

2. Принцип *целостности* действия – все движения в двигательном действии образуют единое целое. Изменения в одном движении, так или иначе, влияют на всю систему.

3. Принцип *иерархичности* – отдельные структуры являются составными частями более крупных структур.

4. Принцип сознательной *целенаправленности* систем движений – человек сознательно ставит *цель двигательного действия*, применяет целесообразные движения и управляет ими для эффективного достижения поставленной цели.

1.2. ФОРМЫ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИИ.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ

Рассматривая биомеханику как науку, изучающую закономерности механического движения живых систем, целесообразно рассмотреть основные понятия о движении вообще и особенности движений человека в частности.

Движение – одна из форм существования материи, и оно так же многообразно, как многообразен мир.

Как известно, Ф. Энгельс различал:

1. Простые формы движения материи.
2. Сложные, высшие формы движения материи.

1. Простые формы движения материи

Простые формы движения материи включают в себя следующие формы движения материи:

- Механическое движение.
- Физическое движение.
- Химическое движение.

Рассматриваемые формы движения материи проявляются как в живой, так и в неживой природе.

Механическое движение проявляется в перемещении объектов в пространстве и во времени. Физическое движение – изменение физических свойств материи (температура, электрическое сопротивление, объем, плотность, состояние – твердое, жидкое, газообразное и т.п.). Химическое движение обусловлено происходящими в материи химическими реакциями.

2. Сложные формы движения материи

К сложным, высшим формам движения материи относятся:

- Биологическая.
- Социальная.

Биологическая форма движения материи характеризует развитие живых систем в онтогенезе и в филогенезе, в частности, человека и животного мира. Социальная форма движения материи (общественные отношения, мышление) присуща только человеку.

Каждая сложная форма движения материи всегда включает в себя более простые формы. Простейшая форма – механическая – существует везде. Чем выше форма, тем менее значима механическая форма движения материи.

Двигательные действия человека, изучаемые биомеханикой, включают в себя механическое движение. Конечный результат движения – *цель двигательного действия* (переместить снаряд, партнера, переместиться самому и т.п.). Но механическое движение человека включает в себя более высокие формы движения. Поэтому биологическая механика (биомеханика) шире и намного сложнее, чем механика неживых систем.

Чем выше форма движения материи, тем труднее выполнить прогноз ее эволюции. Можно заранее рассчитать траекторию движения спутника, предсказать его поведение на орбите, но задача несоизмеримо усложняется при прогнозе “предсказания событий” в социальной форме движения материи, в сфере общественных отношений.

3. Естественные и целенаправленные движения

Классификация механической формы движения материи на естественные и целенаправленные была предложена отечественным ученым В.Г.Корневым в 1974 г. С точки зрения биомеханики, предло-

женная классификация корректна и обоснована. Сущность проявления “естественности” и “целенаправленности” в движениях объекта проявляется в следующем.

Если движущийся объект *не вырабатывает управляющих воздействий* для достижения цели движения, то такое движение является *естественным*. Примером естественных движений являются движения планет в солнечной системе, полет спортивных снарядов (копье, диск, молот, ядро) и т.п.

Если со стороны движущегося объекта *вырабатываются управляющие силы* для изменения траектории движения и достижения цели, то такое движение трактуется как *целенаправленное*.

Движения человека, как самоуправляемой биомеханической системы, относятся к подклассу целенаправленных движений. Для достижения цели движения человек вырабатывает управляющие воздействия (сила тяги мышц), изменяя и формируя тем самым траекторию движения.

В понятии о целенаправленных движениях присутствует философская категория: *цель движения*. Цель движения можно сформулировать различным образом:

1. В содержательно-смысловой форме.
2. В математической форме.

1.3. Общая задача и частные задачи биомеханики

В биомеханике выделяют две группы задач, решение которых определяет ее содержание – теорию и метод:

1. Общая задача биомеханики.
2. Частные задачи биомеханики.

Общая задача охватывает всю область теории биомеханики в целом; частные же задачи важны при изучении конкретных вопросов исследуемых явлений.

1. Общая задача биомеханики

Общая задача изучения движений человека состоит в оценке эффективности действия внешних и внутренних сил для более совершенного достижения цели движения. Технология решения общей задачи биомеханики включает в себя три этапа:

1. *Определить все силы*, действующие на тело спортсмена в процессе выполнения двигательного действия.

2. Выделить *силы*.

- которые оказывают *положительное воздействие* на достижение цели движения и эффективное решение двигательной задачи;
- которые оказывают *отрицательное воздействие* на достижение цели движения и эффективное решение двигательной задачи.

3. Сконструировать такую технику изучаемого упражнения, при которой действие сил, оказывающих *положительное воздействие* на формирование рациональной структуры движения, будет *максимальным*, а действие тех сил, которые оказывают *отрицательное воздействие*, – *минимальным*.

Рассмотрим следующий пример. Допустим, спортсмен выполняет большой оборот назад на перекладине (рис. 1).

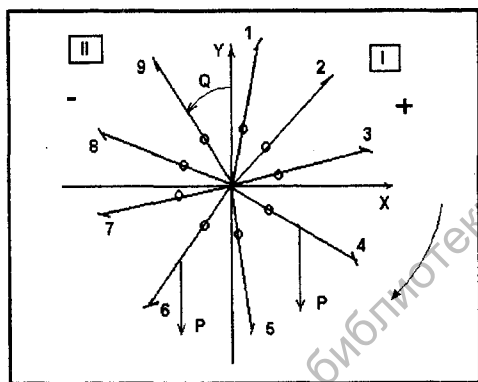


Рис. 1. Большой оборот назад

В первой половине оборота (I), на тело спортсмена оказывают действие силы: сила тяжести (P), момент силы трения кистей рук гимнаста о гриф перекладины, сопротивление внешней среды. Во второй половине оборота (II) на тело гимнаста действуют эти же силы. Гимнаст выполняет движение выпрямленным телом на всей траектории оборота. В первой половине оборота *сила тяжести* оказывает *положительное воздействие*.

она разгоняет звенья тела спортсмена (+).

Во второй половине оборота *эта же сила* оказывает *отрицательное воздействие*: сила тяжести тормозит звенья тела спортсмена (-). И, не доходя примерно градусов 30 до вертикального положения над опорой (угол Q), гимнаст остановится, что не позволит успешно решить ему двигательную задачу.

Для *увеличения положительного воздействия момента силы тяжести* в первой половине оборота необходимо выполнять движение *выпрямленным телом* для того, чтобы положительная работа момента силы тяжести на всей траектории оборота была наибольшей.

Для *уменьшения отрицательного воздействия момента силы тяжести* во второй половине оборота гимнасту *необходимо выполнить*

сгибательные движения рук в плечевых и ног в тазобедренных суставах, что позволит приблизить общий центр масс звеньев тела спортсмена к опорной вертикали и поддержать набранную скорость.

2. Частные задачи биомеханики

Частные задачи биомеханики состоят в изучении следующих основных вопросов:

- 1. Строение, свойства и двигательные функции тела спортсмена.*
- 2. Рациональная спортивная техника.*
- 3. Техническое совершенствование спортсмена.*

Первая группа частных задач направлена на выяснение вопроса об особенностях строения опорно-двигательного аппарата, его механических и функциональных свойств, особенностей работы мышечного аппарата.

Вторая группа задач направлена на изучение ныне существующей техники спортивных упражнений, а также на разработку новой, более рациональной техники для конкретного исполнителя.

Третья группа задач – биомеханическое обоснование технической подготовки спортсменов – подразумевает:

- определение особенностей и уровня двигательной и физической подготовленности тренирующихся;
- построение оптимальной (наилучшей) спортивной техники;
- подбор вспомогательных упражнений и создание тренажеров для специальной физической и технической подготовки;
- оценка и контроль эффективности применяемых методов тренировки.

1.4. Взаимосвязь биомеханики

с другими учебными дисциплинами

Биомеханика, как одно из научных направлений, опирается на теоретические данные ряда смежных наук и собственными исследованиями обогащает их. Первоначально биомеханика развивалась как раздел биофизики, возникший на стыке *физических* и *биологических* областей знаний. Постепенно биомеханика, как одна из биологических наук нового типа, сближается по методам исследования с точными науками. И в настоящее время по реестру научных направлений биомеханика относится к техническим наукам (раздел – механика).

Можно выделить следующие основные научные направления, с которыми тесно связана биомеханика:

1. Биологические науки.
 - Анатомия.
 - Спортивная морфология.
 - Физиология физических упражнений.
2. Технические науки.
 - Аналитическая механика и устойчивость движения.
 - Динамика механических систем.
 - Теория управления движением.
 - Теория машин и роботов.
3. Физико-математические науки.
 - а) Математика.
 - Дискретная математика.
 - Дифференциальные уравнения.
 - Математическая кибернетика.
 - б) Информатика.
 - Математическое моделирование.
 - Теория оптимизации.
 - Теория программирования.
4. Педагогика.

Анатомия, спортивная морфология, физиология физических упражнений содействуют пониманию конкретных специфических особенностей *формы, строения и функции тела человека*.

Идеи и подходы технических наук обогащают *механико-математический аппарат* биомеханики для анализа и синтеза движений биомеханических систем, дают необходимое обоснование в области *теории управления двигательными действиями*.

Математические дисциплины и информатика вооружают исследователей в области биомеханики двигательных действий собственными методами исследований, хорошо разработанными в данных областях науки. В настоящее время особенно широкое применение в биомеханических исследованиях находят различные *вычислительные алгоритмы кинематических и динамических характеристик* спортивных упражнений с помощью средств компьютерной техники. С помощью специальных компьютерных программ материалы видеосъемки спортивных упражнений оцифровываются и записываются в память ПЭВМ, что позволяет в дальнейшем использовать их в качестве исходных данных для вычисления биомеханических характеристик исследуемых упражнений.

Методы обучения, разработанные и принятые на вооружение в педагогике, успешно используются биомеханикой для разработки *эффективных методов обучения двигательным действиям*.

Связь биомеханики с другими научными направлениями имеет двусторонний характер, обеспечивающий взаимное обогащение теории и методов исследования.

2. МЕТОДЫ БИОМЕХАНИКИ

Метод биомеханики – это способ исследования, путь познания закономерностей двигательных действий в биомеханике. Теория биомеханики дает обоснование ее методу, метод же определяет возможности получения новых данных о биомеханике исследуемых упражнений.

В наиболее общем виде *метод биомеханики* имеет в своей основе:

1. *Системный анализ*.
2. *Системный синтез*.

2.1. ХАРАКТЕРИСТИКА АНАЛИЗА ДВИЖЕНИЙ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КАК МЕТОДА БИОМЕХАНИКИ

Рассматривая сложное двигательное действие, необходимо мысленно выделить в этой системе ее составные элементы, установить *состав* элементов системы. Выделение состава элементов системы – этап познания целостности двигательного действия. Биомеханика, как наука экспериментальная, опирается на опытное изучение движений. При помощи биомеханических методов исследования регистрируются количественные особенности (биомеханические *характеристики*), которые *позволяют различать движения*, отличить одно движение, элемент, деталь от другого, сравнивать их между собой. Рассматривая характеристики, мысленно *расчленяют систему движений на составные элементы, части*, таким образом устанавливают ее состав. В этом заключается *системный анализ действий*.

Биомеханический анализ направлен на выявление биомеханических закономерностей движений. В основу биомеханического анализа положено представление о *структурности движений* в двигательном действии человека. Исходя из принципа структурности, намечается *определенная последовательность описания и объяснения движений*.

Единая последовательность операций вряд ли может быть рекомендована при различных задачах исследования. Однако в качестве

основной схемы анализа в каждом конкретном случае можно принять следующую схему:

1. Определение характеристик. По биомеханическим характеристикам движений судят об их выполнении. Эти характеристики регистрируют, данные регистрации обрабатывают, сопоставляют, анализируют.

2. Установление двигательного состава. Основываясь на изученных биомеханических характеристиках определяют *элементы* движений:

- *главные и корректирующие управляющие движения* (суставные движения звеньев и систем звеньев);
- *динамическая осанка* – движение с сохранением позы спортсмена;
- *фазы движений* (временная форма организации элементов двигательного действия).

Устанавливают из каких положений и в каких суставах выполняется движение, в каких направлениях и с какой амплитудой; какова их последовательность и согласованность во времени и в пространстве. Иначе говоря, определяют внешнюю картину движения в целом.

Параллельно вычлениают и составные части движений звеньев:

- *подготовительная фаза*;
- *рабочая фаза*;
- *заключительная фаза*.

3. Анализ структуры движений. Установив состав движений, основное внимание переключают на установление *структуры* движений (способ взаимодействия элементов и подсистем системы):

- *кинематическая структура* (пространственная, временная, пространственно-временная, ритмическая, фазовая, координационная);
- *динамическая структура* (силовая, энергетическая, инерционная);
- *вещественная структура* (анатомическая – опорно-двигательный аппарат тела человека);
- *управляющая структура* (информационная, сенсорная, психологическая, эффекторная).

4. Оценка эффективности движений. Устанавливают, насколько успешно решена двигательная задача, и какова “стоимость” ее решения, насколько рационально достигнута цель движения.

2.2. Характеристика синтеза движений биомеханических систем как метода биомеханики

Система движений как целое не просто сумма ее составляющих. Горсть гороха, рассыпанная по столу – не система. В системе все ее элементы подчинены определенным связям:

1. *Физические связи*, посредством которых осуществляется конструктивная связь элементов системы. Например, физическая связь сегментов тела спортсмена осуществляется с помощью суставов (пространственное расположение элементов системы – вещественная система – опорно-двигательный аппарат тела человека).

2. *Формализованные физические связи* – описание физических связей математическим аппаратом, который математически описывает координаты суставов сегментов тела человека с использованием *обобщенных координат* (углы наклона звеньев к оси Ox декартовой системы координат) и *длины сегмента*. Соответствующие формулы приводятся в разделе “Кинематическая модель опорно-двигательного аппарата тела человека”.

3. *Законы механики* – отражают зависимость кинематических характеристик от динамических характеристик движения в формульных выражениях, например, в форме математической модели движения неразветвленной биомеханической системы в условиях опоры.

Многочисленные взаимосвязи, объединяющие части системы, придают системе новые свойства, не свойственные ее частям качества (*системные свойства*). Изучая изменения количественных характеристик, выявляют, как элементы влияют друг на друга и систему в целом, определяют причины целостности системы. В этом и проявляется *системный синтез двигательного действия*.

Используя компьютерную технику, можно с помощью имитационного моделирования движений человека на ПЭВМ вычленить отдельные суставные движения, выявить их роль и вклад в формирование той или иной траектории движения, найти оптимальную (наилучшую) технику для конкретного исполнителя в зависимости от его массинерционных характеристик и уровня развития физических качеств (силового потенциала, в частности).

Синтез движений спортсмена выполняется как теоретически (математическое моделирование движений человека на ПЭВМ), *так и практически* в процессе овладения техникой изучаемого спортивного упражнения.

3. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В биомеханических исследованиях, в том числе и при исследовании рациональных форм техники спортивных упражнений, условно различают три этапа:

1. *Регистрация данных (биомеханических характеристик).*
2. *Обработка результатов регистрации.*
3. *Биомеханический анализ.*

Регистрация характеристик движений человека и движимых им тел выполняется с целью получения количественных характеристик исследуемого двигательного действия.

Обработка данных (результатов регистрации) позволяет получить новые данные, которые не были непосредственно зарегистрированы. Например, по данным перемещения (пройденного пути) и времени, затраченного на этот путь, вычислить скорость и ускорение.

Биомеханический анализ направлен на установление биомеханических закономерностей построения техники исследуемых спортивных упражнений, на обоснование выводов и рекомендаций.

В биомеханике выделяют две большие группы биомеханических методов регистрации двигательных действий:

1. Оптические методы регистрации движений.
2. Инструментальные методы регистрации движений.

К основным оптическим методам регистрации движений относятся:

1. Кинорегистрация (киносъемка).
2. Фоторегистрация (фотоциклосъемка).
3. Светодиодная фотоциклосъемка.
4. Стробоскопическая фотоциклосъемка.
5. Видеомагнитофонная запись движений.

К основным инструментальным методам регистрации движений относятся:

1. Электротензометрия.
2. Вектординамография.
3. Электромиография.
4. Электрогониография.
5. Спидография, акселерография.

3.1. ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ДВИЖЕНИЙ

3.1.1. Киносъемка

Кинорегистрация (киносъемка) производится путем экспозиции на последовательные участки киноплетки (кинокадры), перемещающейся в кинокамере. В дальнейшем киноплетка может быть использована:

1. Для *демонстрации* на экране снятых спортивных упражнений.
2. Для выполнения *промера* упражнения с целью получения чис-

ленных значений биомеханических характеристик двигательного действия.

На каждом кинокадре фиксируется лишь одно положение, по которому можно определить:

- *позу и координаты точек тела;*
- *момент времени, к которому относится тот или иной кинокадр.*

Для определения позы и координат точек тела предварительно выполняется промер упражнения. Технология выполнения промера заключается в следующем.

1. Киноплёнку вставляют в фотоувеличитель, устанавливают начальный кинокадр выполнения упражнения и проецируют его на лист миллиметровой бумаги, расположенный на столе перпендикулярно фотопроекции кинокадра.

2. На листе миллиметровой бумаги отмечают перпендикулярными линиями расположение внешней системы отсчёта (неподвижное тело – оконный проём, спортивный снаряд в гимнастике, растяжки и торец грифа перекладины и т.п.).

3. Передвижением киноплёнки в фотоувеличителе совмещают избранную внешнюю систему отсчёта с системой отсчёта на листе миллиметровой бумаги.

4. Отмечают крупными точками каждый сустав звеньев тела спортсмена на листе миллиметровой бумаги (для одного кинокадра).

5. Соединяют линиями отмеченные на листе бумаги точки (суставы) и место опоры опорного звена (если упражнение выполнялось в условиях опоры).

6. Перемещают киноплёнку упражнения на один следующий кинокадр и совмещают избранную внешнюю систему отсчёта с системой отсчёта на листе миллиметровой бумаги. На листе миллиметровки отмечают номер кинокадра.

7. Повторяют пункты 4-5-6 до окончания выполнения упражнения или до того кинокадра, на котором следует остановить выполнение промера в соответствии с задачами исследования.

Полученная в результате выполнения промера кинематическая схема расположения звеньев тела спортсмена называется *кинетограммой* упражнения. Иначе говоря, кинетограмма представляет собой модель траектории реального движения. Считанные *координаты суставов* заносят в специальную таблицу для вычисления, в дальнейшем, численных значений биомеханических характеристик исследуемого упражнения.

Дополнительно, по промеру, определяют *углы наклона звеньев* тела спортсмена к оси Ох декартовой системы координат (*обобщенные координаты*).

Условия кинорегистрации:

1. Разрабатывается предварительная схема расположения киноаппаратуры относительно места выполнения упражнений (оптическую ось объектива аппарата располагают перпендикулярно плоскости снимаемого движения).

2. Выполняют маркировку (разметку) фона и объекта съемки. Обычно для всех видов съемки используют в качестве фона полотно белого или черного цвета с нанесенными на нем перпендикулярными полосами черного или белого цвета (противоположными цвету фона). На суставы спортсмена крепятся кружки лейкопластыря (или две перпендикулярные полосы лейкопластыря) с нанесенными на них черными отметками, которые на промере и представляют собой центр сустава.

3. Для получения точного масштаба фотографируют масштабную линейку, помещенную в плоскости движения или расположенную на фоне. С этой же целью можно предварительно измерить длины звеньев (сегментов) тела спортсмена.

4. Определяют условия освещения и скорость снимаемого объекта для выбора чувствительности пленки и времени экспозиции.

3.1.2. Фотоциклосъемка

На тело испытуемого (проекции центров суставов) прикрепляются светящиеся лампочки накаливания. При однократной экспозиции получается одиночный фотоснимок (фотография). Если держать затвор фотоаппарата открытым в течение всего движения, то на негативе получаются непрерывные траектории точек (*фотограмма*). Для лучшей ясности и четкости изображения съемку желательно выполнять в затемненном помещении.

По фотограмме невозможно определить временные характеристики движения, и в силу этого рассматриваемый метод регистрации движений был модифицирован, когда на одном негативе можно получить двойной (тройной и т.д.) фотоснимок (несколько положений). Этот метод получил название "*фотоциклосъемка*". Технология выполнения фотоциклосъемки следующая:

1. Перед объективом фотоаппарата расположен вращающийся диск (обтюратор) с прорезями. Выдержка фотоаппарата установлена на длительность выполнения снимаемого движения.

2. Обтюратору задают определенную скорость вращения. В тот момент, когда прорезь пересекает ось объектива фотоаппарата на пленке “запечатлевается” движение.

3. На фотопленке получают *хронофотограмму* – ряд изображений на одной и той же пленке через равные интервалы времени. Иначе хронофотограмму называют *циклограммой*.

Промер упражнения выполняется так же, как и с использованием кинопленки.

3.1.3. Светодиодная фотоциклосъемка

Киносъемка спортивных упражнений имеет определенные погрешности, связанные с недостаточно точным определением частоты киносъемки. Если механический привод (пружина) или электрический привод (батарея) подсели, то киносъемка выполняется не в соответствии со стандартом частоты киносъемки. К тому же необходимо учитывать и инерционность обтюратора кинокамеры и желательно включать ее на 2-3 с заранее по отношению к времени начала выполнения упражнения, чтобы была достигнута необходимая частота киносъемки.

Так как мы считаем, что киносъемка выполнялась в соответствии с принятым стандартом частоты киносъемки, а реально стандарт не был выдержан, то в результате вычислений по промеру угловой скорости и ускорения звеньев тела спортсмена, и линейной скорости, и ускорения точек звеньев (суставы, центр масс звена или сегмента) получаются большие погрешности.

Светодиодная фотоциклосъемка освобождена от погрешности, связанной с недостаточно точным определением шага по времени экспозиции движения. Светодиоды, имеющие величину рисового зернышка, обладают свойством безынерционности, и частота их миганий (мерцаний) может достигать 1 миллиона герц в секунду. Поэтому, задавая с помощью определенного прибора частоту миганий светодиода, к примеру, 25 герц в секунду, можно быть уверенным в точности воспроизведения временных интервалов светодиодной фотоциклосъемки.

Светодиоды с помощью лейкопластыря прикрепляются к суставам испытуемого. Спортивное упражнение снимается на фотоаппарат при максимально возможном сумеречном освещении. Выдержка устанавливается в соответствии с временем, необходимым для выполнения упражнения. На негативе фотопленки через равные про-

межутки времени, заданные определенной частотой мигания светодиодов, получают в виде точек изображения светодиодов. Так как светодиоды прикрепляются к суставам испытуемого, то при выполнении промера точки соединяют прямой линией и получают кинотограмму упражнения. Считывая координаты суставов, получают исходную таблицу для вычисления в дальнейшем пространственно-временных характеристик изучаемого упражнения (угловые и линейные скорости и ускорения сегментов, звеньев и определенных точек сегментов и звеньев).

3.1.4. Стробоскопическая фотоциклосъемка

Стробоскопическая фотоциклосъемка выполняется на фотоаппарат с прерыванием внешнего источника света, падающего на объект съемки. В качестве внешнего источника света используют стробоскопические лампы накаливания, частоту миганий которых можно регулировать в большом диапазоне: до сотни и тысячи герц в секунду.

На одном негативе получают ряд поз освещенного человека – *стробфотограмму*. По конечному результату стробоскопическая фотоциклосъемка сходна с хронофотограммой фотоциклосъемки, выполняемой с применением обтюратора. Роль обтюратора, перекрывающего объектив фотоаппарата, в стробоскопической фотоциклосъемке выполняют стробоскопические лампы, которые можно гасить и включать с большой частотой.

Достоинством стробоскопической фотоциклосъемки является большая точность временных промежутков регистрации позы испытуемых, что позволяет получить и более точные данные о кинематической картине движения.

Промер упражнения выполняется так же, как и в фотоциклосъемке.

3.1.5. Видеомагнитофонная запись движений

В настоящее время видеомагнитофонная запись движений находит все более широкое применение. Технология ее проведения по условиям установки видеокамеры, условиям освещенности, маркировки испытуемых и фона аналогична киносъемке упражнений.

Дальнейшие операции по использованию видеопленки просматриваются в двух направлениях:

1. Демонстрация видеопленки через видеомэгнитофон с остановкой в необходимом положении с помощью "стоп-кадр".

2. Оцифровка видеопленки с помощью компьютерной технологии и запись в видеофайл, что позволяет в дальнейшем использовать полученный видеофайл для выполнения *промера* упражнения (*считывание координат суставов исполнителя*) на компьютере с помощью стандартных графических редакторов. Например, с помощью стандартного редактора "Paint". Полученные в результате выполнения промера координаты суставов используются в дальнейшем для вычисления *кинематических* и *динамических* характеристик упражнений.

Однако очень широкого распространения второе направление использования видеомэгнитофонной записи движений в настоящее время еще не получило ввиду дорогостоящего интерфейсного оборудования (например, видеоплата "Miro Video DC 10", необходимая для оцифровки видеоизображения, стоит около 275-300 долларов США).

3.2. Инструментальные методы регистрации движений

3.2.1. Электрическая тензометрия

В биомеханике метод *электрической тензометрии* применяется для регистрации силы реакции опоры при выполнении спортивных упражнений. Широкое распространение метод электротензометрии получил для регистрации силы отталкивания в прыжках, ходьбе, беге, метаниях и многих других видах спорта.

Метод электрической тензометрии *основан на изменении электрических свойств датчиков (тензодатчиков) при деформации*. При деформации тензодатчика меняется его электрическое сопротивление, а следовательно, и выходная величина электрического тока при постоянном напряжении, пропускаемого через тензодатчик. Тензодатчики наклеиваются на деформируемые спортсменом части снарядов (гриф штанги или перекладины, рукоять весла, ручка теннисной ракетки и т.п.) или на измерительные устройства (стальные кольца, пластины и др.).

Выходная величина тока регистрируется осциллографом и электрические сигналы, пропорциональные изменению величины силы реакции опоры, оставляют на экране осциллографа светящийся след в виде кривой, отражающей изменение величины силы реакции опоры. Для сопоставления величины изменения электронного луча и силы реакции опоры предварительно выполняют *тарировку* тензометрического устройства. Тарировку выполняют в несколько этапов:

1. Регистрируется начальный уровень электронного луча при отсутствии нагрузки на тензометрическом устройстве (перекладина, тензоплатформа и т.п.).

2. Регистрируется уровень электронного луча при определенной нагрузке на тензометрическое устройство. Например, спортсмен весом 70 кГ принял вис на тензометрической перекладине, что вызвало смещение электронного луча на 5 см. Следовательно, смещение электронного луча на 1 см вызывается действием силы равной 14 кГ ($14=70/5$).

3. Зависимость между величиной нагрузки и смещением электронного луча считается линейной (14 кГ/см) и используется в дальнейшем для определения величины силы реакции опоры по измеренному на тензограмме смещению кривой относительно исходного уровня (при отсутствии нагрузки).

3.2.2. Вектординамография

Модификацией электротензометрии является метод *вектординамографии*, позволяющий регистрировать вертикальную и горизонтальную составляющие силы реакции опоры (взаимно перпендикулярные составляющие деформации тензоплатформы или другого тензометрического устройства). Электрический сигнал, соответствующий горизонтальной составляющей исследуемого усилия, подается на горизонтальные пластины электронного осциллоскопа: сигнал, соответствующий вертикальной составляющей усилия, – на вертикальные пластины.

В результате одновременного воздействия двух сигналов электронный луч вычерчивает на экране след, отражающий годограф этих усилий (результатирующая силы реакции опоры). Следует отметить возможность получения на специальной бумаге твердой копии кривой электронного луча, что и позволяет в дальнейшем определить по временным отметкам тензограммы и киносъемки упражнения, позу спортсмена и соответствующие данному положению спортсмена величину и направление приложенных к тензоплатформе усилий.

3.2.3. Электромиография

Электромиография – метод регистрации электрической активности возбуждения мышц – применяется для определения *начала и окончания мышечных усилий и величины их активности*.

Сущность методики электромиографии (ЭМГ) состоит в регистрации контактным способом с поверхности мышцы (глобальные ЭМГ) или изнутри (локальные ЭМГ) разности потенциалов ее электричес-

кого поля. Для отведения глобальных ЭМГ применяют поверхностные посеребренные электроды, прикрепляемые к изучаемой мышце или группе мышц. Для регистрации локальных ЭМГ используют игольчатые электроды из платины.

Электрические потенциалы возбужденной мышцы (тысячные доли вольта) изменяются чрезвычайно быстро (тысячные доли секунды). Для их регистрации биопотенциалы мышц усиливают в тысячи раз и подают на безынерционный осциллограф.

На фотопленке или бумажной ленте одновременно регистрируются:

1. Электромиограммы группы мышц.
2. Отметка времени (обычно до 0,02 сек).
3. Предварительно записывается калибровочный сигнал, чтобы при дешифровке электромиограммы определить величины биопотенциалов.

Применение портативных усилителей позволяет записывать электромиограммы в сложных условиях выполнения спортивных упражнений (прыжки с шестом, барьерный бег, сложные гимнастические упражнения на снарядах, плавание и др.) при высоких спортивных результатах.

Модификацией метода электромиографии является метод *телемиографии*, основанный на передаче по радио сигнала биопотенциала работающих мышц.

К недостаткам методики ЭМГ можно отнести невысокую точность измерений, что обусловлено, в частности, тем, что зависимость между электрической активностью мышцы и исследуемыми компонентами моторики спортсмена (мышечной деятельности) не линейна, что усложняет получение количественных характеристик мышечной деятельности.

3.2.4. Электрогониометрия

Гониометрией называется способ измерения суставных углов при помощи транспорта скрепленного с линейкой.

Электрогониометрией *называется способ измерения суставных углов при помощи датчика угловых перемещений.*

Как правило, датчик угловых перемещений (типа ППЗ-43) представляет собой потенциометр, электрически связанный с регистрирующим прибором (самописцем) типа Н-700 или К-109. Основная погрешность данной методики заключается в изменении положения места закрепления потенциометра по отношению к измеряемому суставному углу, особенно при выполнении упражнений скоростно-силового характера. Эта погрешность может достигать 15-20%.

3.2.5. Спидография, акселерография

Спидография – метод регистрации скорости движущегося объекта (сегментов, звеньев и непосредственно перемещающегося тела спортсмена). Из известных приборов для регистрации скорости передвижения спортсмена наиболее распространенным является спидограф А.В.Абалакова. Принцип действия этого прибора основан на измерении с помощью тахометра скорости вращательного движения фрикционного шкива, приводимого в движение гибкой нитью, прикрепленной к перемещающемуся спортсмену.

Измерение скорости движения спортсмена с помощью акселерометра выгодно отличается от измерения скорости с помощью спидографа отсутствием связи спортсмена с регистрирующим (показывающим) прибором. При использовании интегрирующего акселерометра непосредственная механическая связь с показывающим прибором отсутствует.

Интегрирующий акселерометр, имеющий малый вес и габариты, прикрепляется к спортсмену, что позволяет при помощи телеметрического устройства измерять ускорения и скорость при любом движении, в том числе и криволинейном.

Запись скорости и ускорения производится либо на шлейфном осциллографе типа Н-700, либо на самописце Н-320-5. Обработка результатов тестирования производится по тарировочной сетке вручную или с вводом необходимых данных в ПЭВМ.

Акселерометрия – метод измерения ускорения. В качестве регистрирующего прибора используется акселерометр или акселерограф.

Ускорение воспринимается маятниковым устройством, в котором при изменении скорости возникает отклонение маятника от положения равновесия (величину отклонения показывает стрелка на шкале, отградуированной в единицах ускорения).

В электромеханическом способе маятник связан непосредственно с тензодатчиком, изменяющим свой электрический параметр (сопротивление, индуктивность или емкость) в зависимости от механической деформации, пропорциональной ускорению.

Как правило, при проведении акселерометрических измерений используют следующий комплекс приборов:

1. Датчик ускорений.
2. Тензометрический усилитель (например, ТУ-ЧИ, ТОПАЗ, УТ-4-1, тензостанция УТС-12 и др.).
3. Регистрирующее устройство (например, Н-700, К-105, Н-320).

Основной аппаратурной погрешностью является неточность ориентации датчика и перемещение датчика на теле спортсмена, что может вызвать погрешность измерения в пределах 20-30%. Для проверки акселерометра промышленностью выпускается специальный "Виброэлектродинамический стенд" типа ВЭДС-10А.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПРЕДМЕТ БИОМЕХАНИКИ	1
1.1. Общая характеристика биомеханики как учебной и научной дисциплины	1
1.2. Формы движения материи. Естественные и целенаправленные движения	4
1.3. Общая задача и частные задачи биомеханики	6
1.4. Взаимосвязь биомеханики с другими учебными дисциплинами	8
2. МЕТОДЫ БИОМЕХАНИКИ	10
2.1. Характеристика анализа движений биомеханических систем, как метода биомеханики	10
2.2. Характеристика синтеза движений биомеханических систем, как метода биомеханики	11
3. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	12
3.1. Оптические методы регистрации движений	13
3.1.1. Киносъемка	13
3.1.2. Фотоциклосъемка	15
3.1.3. Светодиодная фотоциклосъемка	16
3.1.4. Стробоскопическая фотоциклосъемка	17
3.1.5. Видеомагнитофонная запись движений	17
3.2. Инструментальные методы регистрации движений	18
3.2.1. Электрическая тензометрия	18
3.2.1. Вектординамография	19
3.2.3. Электромиография	19
3.2.4. Электрогониометрия	20
3.2.5. Спидография, акселерография	21

Учебное издание

Загревский
Валерий Иннокентьевич

ПРЕДМЕТ И МЕТОДЫ
БИОМЕХАНИКИ,
БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ

Методическая разработка

Технический редактор А.Н. Гладун
Компьютерная верстка А.Л. Позняков
Корректор Ю.Л. Кац

Лицензия ЛВ № 384 от 07.02.2001 г.

Сдано в набор 16.04.2001. Подписано в печать 19.07.01. Формат 60х84^{1/16}
Бумага офсетная. Гарнитура Vremya. Усл.-печ. л. 1.3
Уч.-изд. л. 1.4. Тираж 80 экз. Заказ № 228

Налоговая льгота – общегосударственный классификатор
Республики Беларусь ОКРБ 007-98, 22.11.20.600

Издательство Могилевского государственного университета
им. А.А. Кулешова, Могилев, Космонавтов, 1.

Напечатано на ризографе лаборатории оперативной полиграфии
МГУ им. А.А. Кулешова. ЛП №281 от 07.02.2001 г.
212022, Могилев, Космонавтов, 1