

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Национальный государственный Университет  
физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф.Лесгафта,  
Санкт-Петербург»**

Кафедра БИОМЕХАНИКИ

Методическое обеспечение

## **МЕТОДОЛОГИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования - программы подготовки научно-педагогических кадров в  
аспирантуре по направлению подготовки кадров высшей квалификации

**49.06.01 – «Физическая культура и спорт»**

направленность (профиль)  
Биомеханика

**квалификация ВЫПУСКНИКА - Исследователь. Преподаватель-  
исследователь.**

форма обучения  
очная / заочная

Рассмотрена и утверждена на заседании  
кафедры  
«31» августа 2015 г., протокол № 1

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Самсонова А.В.  
Автор-разработчик:  
Профессор кафедры биомеханики, к.п.н.,  
доцент Л.Л. Ципин

Санкт-Петербург, 2015

## 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯМ

При подготовке к лекционным, практическим занятиям и лабораторным работам преподаватель руководствуется:

- ✓ конспектами лекций, практических занятий и лабораторных работ;
- ✓ объемными требованиями для подготовки к зачету.

### 1.1. Конспект лекций

Лекция №1. Цель и задачи биомеханических исследований. Развитие методов изучения движений. Планирование биомеханического эксперимента.

Цель и задачи биомеханических исследований.

Важную роль в изучении механических свойств живых систем, которые являются предметом биомеханики, играют экспериментальные исследования, которые создают фундамент для построения теории и позволяют произвести оценку достоверности получаемых на ее основе результатов. В свою очередь, созданные на основе эксперимента и применения математического моделирования теории ставят новые задачи перед экспериментальной наукой.

Цель биомеханических исследований в области физической культуры и спорта – изучение двигательных действий человека при выполнении им физических упражнений.

Задачи биомеханических исследований:

- совершенствование спортивной техники;
- контроль техники отдельных спортсменов и занимающихся оздоровительными физическими упражнениями;
- выявление биомеханических закономерностей совершенствования двигательных действий;
- разработка спортивных тренажеров;
- совершенствование спортивного инвентаря.

Развитие методов изучения движений.

Леонардо да Винчи (1451-1519). Впервые использовал известные к тому времени знания в области биомеханики для изучения движений живых существ. Высказал утверждение, что все живые существа действуют по законам механики.

Д.А. Борелли (1608-1679). Первая научная книга по биомеханике «О движении животных» (1679). Изучал статику человеческого тела, определил положение центра тяжести человека.

Братья В. и Э. Вебер. Широко использовали механические приспособления для изучения движений, получили кинематические характеристики ходьбы человека (1836).

Ж. Марей (80-е годы 19 в.). Предложил пневмографическую запись давления ноги на опору при помощи воздушных камер, находящихся в ботинках, с передачей давления воздуха по резиновым трубкам. Совместно с Ж.

Демени разработал метод хронофотографии – получение на неподвижной пластинке ряда последовательных поз через равные промежутки времени с помощью вращающегося с постоянной скоростью перед объективом фотокамеры диска с прорезями.

Э. Майбридж. Получил последовательные автоматические снимки всадника, скачущего на лошади вдоль ряда фотоаппаратов (1877).

В. Брауне и О. Фишер. Применили газосветные лампы для фиксации звеньев тела человека при фотосъемке с целью повышения точности измерений, изучали массы и моменты инерции частей тела человека, кинематику его сочленений, условия работы мышц.

И.М. Сеченов (1829-1905). Опубликовал книгу «Очерк рабочих движений человека», в которой впервые рассмотрел вопросы биомеханики привычных движений человека.

А.А. Ухтомский (1875-1942). Разработал учение о доминанте.

П.Ф. Лесгафт (1837-1909). Подготовил и читал на курсах по физическому образованию предмет «Теория телесных движений», который в дальнейшем был преобразован в дисциплину «Теория движений» и затем в «Биомеханику физических упражнений».

Н.А. Бернштейн (1899-1966). Разработал метод циклограмметрии – получение на фотопластинке при помощи обтюратора точечных траекторий лампочек, что позволяло по координатам точек вычислять их перемещения, скорости и ускорения, а по массам звеньев рассчитывать приложенные силы.

И.М. Козлов. Применил метод электромиографии – регистрацию электрического потенциала скелетных мышц для анализа широкого круга спортивных движений. Электромиография позволяет определить начало и окончание электрической активности мышц, оценить развиваемые усилия, изучить совместное действие мышц в сложных условиях.

В настоящее время методы изучения движений основаны, как правило, на использовании компьютеризированных приборов и аппаратно-программных комплексов. Они включают:

- подометрию – измерение временных характеристик шага;
- пододинамометрию – измерение нагрузки на отдельные точки подошвы или на всей ее площади и построение траектории движения центра давления под стопой;
- гониометрию – измерение углов между звеньями тела;
- акселерометрию – измерение ускорений точек и звеньев тела;
- динамометрию – измерение усилий, возникающих в процессе движений;
- видеорегистрацию – группа методов регистрации движений, характерным признаком которых является наличие только оптического канала связи регистрирующей аппаратуры с обследуемым;
- электромиографию – регистрация биоэлектрической активности мышц.

Планирование биомеханического эксперимента.

Эксперимент считают перспективным, если: объектом исследования служат новые исследования, явления, процессы; проверяются теории или гипотезы, а также устанавливаются границы их применимости; получаются точные количественные или новые качественные данные об известных свойствах процессов и явлений.

Планирование биомеханического эксперимента включает выбор метода исследования, материал и масштаб модели, измерительные приборы, последовательность проведения эксперимента, обработку и анализ результатов и погрешности эксперимента.

Одна из основных задач планирования эксперимента – определение числа опытов, необходимых для установления зависимости между исследуемыми переменными величинами. Переменные параметры, изменяемые в процессе испытаний, называют факторами, а параметры которые изучаются или оптимизируются – выходами или откликами системы.

Простейший метод планирования эксперимента – способ перебора, представляющий собой проведение испытаний при различных сочетаниях факторов. Недостаток этого способа – необходимость проведения большого числа испытаний.

Второй способ планирования эксперимента – изменение только одного фактора при постоянстве остальных, нахождение частного экстремума по данному фактору и затем повторение процедуры с другими факторами. Этот способ значительно сокращает количество опытов, но не всегда оптимален.

Третий способ планирования эксперимента – математическое планирование эксперимента. Предполагается, что существует аналитическая связь между факторами и откликом процесса, и требуется выбрать минимальное число условий проведения опытов, позволяющих найти область оптимальных значений параметров. Математически задача планирования эксперимента состоит в том, чтобы найти уравнение поверхности отклика.

## **1.2. Конспект практических занятий**

### **ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ**

Занятие 1. Современные тенденции развития видеометодов биомеханических исследований. Методика получения и анализа стробогамм и циклограмм. Специальные компьютерные программы для обработки исходных видеоматериалов.

Занятие 2. Биомеханический анализ движений по стробогаммам и циклограммам упражнений следующих видов спорта: легкая атлетика, лыжный спорт, конькобежный спорт, теннис, футбол, баскетбол.

Занятие 3. Биомеханическая фото- кино- и видеосъемка. Выбор аппаратуры. Зависимость точности измерения биомеханических характеристик от формата и светочувствительности фотоматериала, параметров объектива, экспозиции, способа наведения на резкость, программы съемки. Особенности скоростной фотокамеры Casio Exlim Pro EX F1.

Занятие 4. Особенности использования цифровой фото- и видеоаппаратуры. Регистрация координат маркированных точек на теле спортсмена. Применение полуавтоматических видеокомпараторов. Системы с автоматической

оцифровкой изображения. Видеозахват маркеров, расчет траектории, перемещения, скорости и ускорения маркера с использованием компьютерной программы Motion Trace: Weight Lifting.

Занятие 5. Расчет погрешности прямого измерения на примере определения результата в беге на 100 м. Учет инструментальной погрешности измерителя времени и количества измерений. Линейное и нелинейное сглаживание результатов. Применение программы Statgraphics Plus for Windows для статистических расчетов.

Занятие 6. Расчет погрешности косвенного измерения на примере определения скорости движения общего центра масс спортсмена. Использование регрессионных уравнений для определения положения центров масс звеньев тела спортсмена. Представление результатов.

#### **ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ**

Занятие 1. Биомеханическая фото- кино- и видеосъемка. Выбор аппаратуры. Зависимость точности измерения биомеханических характеристик от формата и светочувствительности фотоматериала, параметров объектива, экспозиции, способа наведения на резкость, программы съемки. Особенности скоростной фотокамеры Casio Exlim Pro EX F1.

Занятие 2. Особенности использования цифровой фото- и видеоаппаратуры. Регистрация координат маркированных точек на теле спортсмена. Применение полуавтоматических видеокомпараторов. Системы с автоматической оцифровкой изображения. Видеозахват маркеров, расчет траектории, перемещения, скорости и ускорения маркера с использованием компьютерной программы Motion Trace: Weight Lifting.

Занятие 3. Расчет погрешности прямого измерения на примере определения результата в беге на 100 м. Учет инструментальной погрешности измерителя времени и количества измерений. Линейное и нелинейное сглаживание результатов. Применение программы Statgraphics Plus for Windows для статистических расчетов.

#### **1.2. Конспект лабораторных работ**

##### **ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ**

Работа 1. Измерение временных интервалов спортивных движений с использованием датчиков-переключателей. Конструкция замыкающих датчиков. Точность метода. Определение длительности фаз в циклических движениях на основе аппаратно-программного комплекса «FTC тестер».

Работа 2. Измерение механических свойств скелетных мышц с использованием аппаратно-программного комплекса «Вибрационный Вискоэластометр» (ВВЭМ-05). Точность метода. Определение жесткости и вязкости мышц верхних и нижних конечностей.

Работа 3. Измерение линейных ускорений с использованием датчиков-акселерометров. Измерение силы с использованием механических и электронных динамометров. Конструкция тензодатчиков. Точность методов. Определение силы мышечных групп спортсменов на полидинамометрическом стенде на базе электронного динамометра «ДОР-3-5И» с индикатором «WI-4».

Работа 4. Измерение электрической активности мышц. Интерференционная электромиограмма. Элементы электромиографической установки. Поверхностные электроды. Монополярное и биполярное отведения. Усилители биопотенциалов. Регистрирующая аппаратура. Работа с аппаратно-программным комплексом «Миоком». Обработка электромиограмм с помощью программы StabMed2.

#### ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Работа 1. Измерение временных интервалов спортивных движений с использованием датчиков-переключателей. Конструкция замыкающих датчиков. Точность метода. Определение длительности фаз в циклических движениях на основе аппаратно-программного комплекса «FTC тестер».

Работа 2. Измерение силы с использованием электронных динамометров. Конструкция тензодатчиков. Точность методов. Определение силы мышечных групп спортсменов на полидинамометрическом стенде на базе электронного динамометра «ДОР-3-5И» с индикатором «WI-4».

#### 1.4. Объемные требования для подготовки к зачету

1. История экспериментальных методов исследования движений человека.
2. Вклад российских ученых в использование методов светорегистрации и анализа электрической активности мышц.
3. Кинематические характеристики движений человека.
4. Динамические характеристики движений человека.
5. Обзор и общая характеристика инструментальных методов исследования.
6. Номенклатура измерительной аппаратуры для биомеханических исследований.
7. Бесконтактные методы измерений в биомеханике.
8. Контактные методы измерений в биомеханике.
9. Масс-инерционные характеристики звеньев тела человека.
10. Методы определения геометрии масс тела человека.
11. Классификация оптических и оптико-электронных методов биомеханических исследований.
12. Системы компьютерного видеоанализа.
13. Структура измерительной системы с использованием датчиков-преобразователей.
14. Датчики-преобразователи для измерения временных интервалов, скоростей, ускорений, межзвенных углов и усилий.
15. Методы определения механических свойств мышц.
16. Электромиография в биомеханических исследованиях.
17. Способы обработки электромиограмм.
18. Виды погрешностей измерения биомеханических характеристик.
19. Расчет погрешностей прямых и косвенных измерений.
20. Сглаживание биомеханических переменных и представление результатов эксперимента.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ АСПИРАНТАМ**

Важным условием для освоения дисциплины в процессе занятий является ведение конспектов, освоение и осмысление терминологии изучаемой дисциплины. Материалы лекционных занятий следует своевременно подкреплять проработкой соответствующих разделов в учебниках, учебных пособиях, научных статьях и монографиях, в соответствии со списком основной и дополнительной литературы. Дополнительная проработка изучаемого материала проводится во время практических занятий и лабораторных работ, в ходе которых анализируется и закрепляется основные знания, полученные по дисциплине.

В рамках изучения учебных дисциплин необходимо использовать передовые информационные технологии – компьютерную технику, электронные базы данных, Интернет.

Целями самостоятельной работой аспиранта является: систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений аспирантов; углубление и расширение теоретических знаний; формирование умения использовать справочную литературу; формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации; развитие исследовательских умений.

Самостоятельная работа выполняется аспирантом по заданию преподавателя и может содержать в себе следующие задания: изучение программного материала дисциплины (работа с учебником и конспектом лекции, изучение рекомендуемых литературных источников, конспектирование источников); выполнение контрольных работ; работа с электронными информационными ресурсами и ресурсами сети Internet; составление схем, таблиц, для систематизации учебного материала; ответы на контрольные вопросы; написание рефератов; работа с компьютерными программами; подготовка к зачету.

Для подготовки к занятиям и самостоятельной работы аспирантам рекомендуется использовать:

- ✓ методические указания по подготовке к лабораторным работам;
- ✓ объемные требования для подготовки к зачету;
- ✓ методические указания по подготовке контрольной работы (для заочной формы обучения);
- ✓ методические указания по подготовке письменного домашнего задания;
- ✓ методические указания по подготовке реферата (для заочной формы обучения);
- ✓ методические указания по подготовке к зачету;

### **2.1. Методические указания по подготовке к лабораторным работам**

Работа 1. Лабораторная установка, предназначенная для определения временных характеристик прыжков, ходьбы и бега, представляет собой телеметрическую систему. Она состоит из датчика – замыкающей площадки, вхо-

дящей в комплекс «ГТС тестер», проводной линии связи и компьютерного регистрирующего устройства. Испытуемый выполняет прыжки вверх, ходьбу и бег на месте. В результате регистрируются хронограммы исследуемых движений. По ним вычисляются длительность фаз движения, длительность цикла движения, темп и коэффициент опоры. Отчет по работе должен содержать выводы о соответствии полученных характеристик исследуемым движениям. При подготовке к работе необходимо ответить на вопросы:

- Что включает измерительная система для определения временных характеристик?
- Что собой представляет замыкающий датчик?
- Что такое телеметрическая система?
- Как по хронограммам определить длительность фаз, темп и ритм движений?

Работа 2. Лабораторная установка, предназначенная для определения механических свойств скелетных мышц спортсмена, представляет собой измерительную систему, состоящую из вибрационного вискоэластометра ВВЭМ-05, от которого сигнал поступает на компьютер и обрабатывается по специальной программе. Выполняется измерение жесткости и вязкости мышц нижней конечности испытуемого в покое и после 30 глубоких приседаний. Отчет по работе должен содержать выводы, как влияет утомление на механические свойства мышц. При подготовке к работе необходимо ответить на вопросы:

- Как в спортивной практике оцениваются механические свойства мышц?
- Что такое вискоэластометрия?
- Как производится тарировка измерительной системы для измерения механические свойства мышц?
- Какие механические свойства мышц могут быть определены методом вискоэластометрии?

Работа 3. Лабораторная установка, предназначенная для измерения развиваемой спортсменом силы, представляет собой измерительный стенд, который включает основание с приспособлениями для фиксации звеньев тела спортсмена, электронного динамометра «ДОР-3» и цифрового индикатора «WI-4». Испытуемый в стандартных положениях выполняет максимальные изометрические напряжения мышц. Отчет по работе должен содержать выводы о соотношении силы различных мышечных групп спортсменов разных специализаций. При подготовке к работе необходимо ответить на вопросы:

- Как устроен тензодатчик?
- Для чего служат силоизмерительные элементы?
- Как производится тарировка силоизмерительной системы?
- Что можно определить с помощью полидинамометрии?

Работа 4. Лабораторная установка, предназначенная для регистрации электрической активности мышц, представляет собой аппаратно-программным комплексом «Миоком». После подготовки поверхности кожи на испытуемом укрепляются биполярные электроды с усилителями биопотенциалов. Выполняются движения с различными отягощениями звеньями верхних и нижних ко-



нечностей. Посредством программы StabMed2 определяются длительность, амплитуда и величина суммарной электрической активности мышц. Отчет по работе должен содержать выводы о зависимости показателей электрической активности мышц от развиваемых усилий. При подготовке к работе необходимо ответить на вопросы:

- В каких точках устанавливаются электроды для регистрации электрической активности мышц?
- Какова последовательность записи электромиограмм?
- Из-за чего возникают артефакты на электромиограммах?
- Что характеризует средняя амплитуда электромиограммы?

## **2.2. Объемные требования для подготовки к зачету (см п. 1.4)**

### **2.3. Методические указания по подготовке контрольной работы (для заочной формы обучения)**

Контрольная работа выполняется аспирантом самостоятельно в межсессионный или сессионный период, аттестация контрольной работы осуществляется в ходе собеседования с преподавателем. Контрольная работа состоит в подборе средств измерений в циклических, силовых, скоростно-силовых, сложнокоординированных видах спорта (по выбору) и в описании современных методик обработки измерительной информации с использованием компьютерных программ. Рекомендации по оформлению контрольной работы:

- Аспирант должен подобрать литературу по теме контрольной работы (не менее 15 источников), проанализировать её и системно изложить результаты этого анализа. При этом следует излагать собственные умозаключения и формировать обобщения и выводы. Поощряется наличие в контрольной работе рисунков и таблиц при наличии аргументированной интерпретации.
- Содержание контрольной работы должно включать в себя план, введение, несколько параграфов или глав, заключение (выводы) и список литературы, изложенный строго по алфавиту и в соответствии с ГОСТом. Список литературы должен включать не менее 15 источников, с непосредственными ссылками в тексте контрольной работы. В качестве обязательных информационных источников аспиранту рекомендуются интернет - источники, а так же профильные журналы.
- Работа представляется в печатном и электронном варианте на формате А-4. Объем работы – 15-20 страниц. Титульный лист контрольной работы должен содержать тему работы, курс, группу, фамилию, инициалы автора. Студенту предоставляется возможность 10 минутного доклада по теме контрольной работы, после чего преподаватель оценивает работу.

### **2.5. Методические указания по подготовке письменного домашнего задания**

Письменное домашнее задание состоит в расчете погрешностей измерений. Задание предполагает расчет погрешности прямого измерения, определение инструментальной погрешности измерителя времени и количества

измерений, линейное и нелинейное сглаживание результатов, расчет погрешности косвенного измерения, использование регрессионных уравнений для определения положения центров масс звеньев тела спортсмена.

#### **2.6. Методические указания по подготовке реферата (для заочной формы обучения)**

Реферат выполняется на основе данных специальной литературы, соответствующих теме диссертационного исследования. Тема реферата выбирается самостоятельно и согласовывается с преподавателем. Реферат должен содержать следующие обязательные вопросы: адекватные средства биомеханических измерений, методы измерений, доступность измерительной аппаратуры, методы обработки результатов измерений, точность измерений, безопасность для испытуемых процесса измерений. Список литературы должен содержать не менее 30 источников.

#### **2.7. Методические указания по подготовке к зачету**

К зачету допускаются аспиранты, набравшие не менее 2-х баллов по каждому текущему контролю, включая выполнение контрольной работы и подготовку реферата аспирантами заочной формы обучения. Зачет проводится в устной форме в соответствии с объемными требованиями. Оценка результатов зачета: «Зачтено», «Не зачтено».