

Учреждение образования
«Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»

Кафедра легкой атлетики, плавания и лыжного спорта
Кафедра спортивных дисциплин и методик их преподавания

А. А. ЗДАНЕВИЧ
Л. В. ШУКЕВИЧ

БИОМЕХАНИКА

*Учебно-методический комплекс
для студентов 2 курса дневной и 3 курса заочной форм получения образования
факультета физического воспитания*

Брест
БрГУ имени А.С. Пушкина
2020

УДК 796.0
ББК

*Рекомендовано редакционно-издательским советом
Учреждения образования
«Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»*

Рецензенты:

*Кафедра физического воспитания и спорта
Учреждения образования «Брестский государственный технический
университет»*

Шаров А. В. – заведующий кафедрой легкой атлетики, плавания и лыжного спорта Учреждения образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», кандидат педагогических наук, доцент

Зданевич, А. А. Биомеханика : учебно-методический комплекс / А. А. Зданевич, Л. В. Шукевич ; под общ. ред. А. А. Зданевича. – Брест : БрГУ имени А.С. Пушкина, 2020. – 218 с.

Учебно-методический комплекс включает содержание учебного материала по биомеханике: лекционный курс, семинарский, лабораторный, список литературы, примерные вопросы для экзамена.

Представленные материалы предназначены для студентов факультета физического воспитания, преподавателей, учителей физической культуры и здоровья.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА	8
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (дневная форма получения образования)	16
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (заочная форма получения образования)	19
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ	21
Раздел 1 Общая и дифференциальная биомеханика	21
	25
Тема 1.1. Предмет, содержание и метод биомеханики.....	
Семинарское занятие по теме 1.1.....	25
Тема 1.2. Биомеханический анализ двигательных действий.....	29
	41
Тема 1.3. Биомеханические системы, обеспечивающие движения человека.....	42
Семинарское занятие по теме 1.3.....	47
	47
Тема 1.4. Биомеханические характеристики движений человека.....	55
Семинарское занятие по теме 1.4.....	
Тема 1.5. Биомеханика двигательных действий.....	55
Тема 1.6. Двигательные действия как системы движений.....	73
Семинарское занятие по теме 1.6.....	73
Тема 1.7. Структура системы движений.....	
	73
Тема 1.8. Биомеханика двигательных качеств.....	
Раздел 2 Частная биомеханика	88
	95
Тема 2.1. Биомеханические основы лёгкой атлетики.....	

Тема 2.2. Биомеханические основы лыжного спорта.....	95
	115
Тема 2.3. Биомеханические основы гимнастики.....	116
Тема 2.4. Биомеханические основы спортивных игр.....	116
Тема 2.5. Биомеханические основы плавания.....	121
Лабораторные работы.....	
Тема 1. Определение ОЦМТ графическим способом.....	122
Тема 2. Определение ОЦМТ аналитическим способом.....	127
Тема 3. Построение биомеханической схемы двигательного действия.....	133
Тема 4. Расчет по координатам линейных скоростей и ускорений.....	133
Тема 5. Расчет по координатам угловых скоростей и ускорений	145
КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ.....	145
Примерные вопросы к экзамену.....	
Тесты для контроля знаний.....	145
ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	
Литература.....	153
Критерии оценки знаний и компетенции студентов.....	
Краткий терминологический словарь.....	170

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методический комплекс разработан для студентов специальности 1–03 02 01 «Физическая культура» и предназначен для реализации на первой ступени высшего образования в рамках общепрофессиональных и специальных дисциплин.

Учебно-методический комплекс разработан на основе образовательного стандарта высшего образования первой ступени (ОСВО 1-03 02 01-2013) по специальности 1–03 02 01 «Физическая культура», утвержденного постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 г., № 88) в соответствии с типовым учебным планом по специальности 1–03 02 01 «Физическая культура» (А 03–1–005 / тип. от 28.06.2013) и учебной программой по дисциплине «История физической культуры и спорта» (рег. № УД – А 1710/ баз. от 30.04.2013).

Курс биомеханики для студентов факультета физического воспитания способствует углублению теоретической подготовки специалистов по физической культуре и спорту и преследует следующую **цель**: обеспечение современного уровня теоретико-методической подготовленности в области биомеханики двигательной деятельности.

Задачи:

- сформировать теоретические знания, необходимые для научно-обоснованного поиска и применения наиболее биомеханически рациональных средств и методов формирования двигательных навыков и развития двигательных качеств различных категорий, занимающихся физической культурой и спортом;
- сформировать практические умения и навыки применения биомеханических средств и методов развития двигательных способностей и двигательных навыков у занимающихся физическими упражнениями.

После изучения курса студенты должны **знать**:

- биомеханическую структуру;
- особенности функционирования биомеханической системы;
- биомеханические характеристики, обеспечивающие двигательную деятельность человека;
- состав и структуру системы движений;
- современное состояние биомеханики в стране и мире.

Уметь:

- применять биомеханический анализ и синтез при изучении двигательной деятельности человека;
- проводить биомеханический анализ различных двигательных действий; выполнять работу по нахождению общего центра массы тела

человека различными способами, линейных и угловых скоростей и ускорений при выполнении различных двигательных действий.

Методы (технология) обучения: словесные – в форме лекции, рассказ, беседа; практические – лабораторные работы; управляемая самостоятельная работа студентов (контрольные работы).

Весь программный материал курса делится на два раздела: 1) общая и дифференциальная биомеханика; 2) частная биомеханика.

В первом разделе рассматриваются темы, связанные с предметом, методами и содержанием биомеханики, различными видами биомеханического анализа двигательных действий, изучаются биомеханические характеристики движений человека и биомеханические основы двигательных качеств.

Во втором разделе основное внимание уделяется изучению биомеханических основ и особенностей двигательных действий в видах спорта, входящих в школьную программу по учебному предмету «Физическая культура и здоровье».

В лекциях излагается основной материал по дисциплине, даются указания и направления более детального его изучения, сообщается новый материал, отсутствующий в учебниках. Базовый материал лекции создает основу для организации самостоятельной работы студентов.

На семинарских занятиях углубляются и детализируются наиболее сложные разделы лекционного материала. Проводится текущая проверка знаний студентов, определяются домашние задания.

Самостоятельная работа заключается в выполнении конкретных теоретических и практических заданий по отдельным вопросам изучаемых разделов дисциплины.

Для изучения учебной дисциплины необходимы знания по следующим дисциплинам типового учебного плана: «Теория и методика физического воспитания», «Теория спорта», «Анатомия», «Физиология спорта», «Педагогика», «Психология», «Биохимия».

Знания, полученные на занятиях по биомеханике, рекомендуется использовать при изучении частных спортивных дисциплин, теории и методики избранного вида спорта, подготовке курсовых и дипломных работ, при проведении студенческих научно-исследовательских работ, при прохождении производственных педагогических практик.

Общее количество часов по данной дисциплине – 150, количество аудиторных часов на дневной форме получения образования 54 часа (по видам занятий из них: 28 часов – лекции, 8 часов – практические, 18 часов – лабораторные занятия), по завершении которых и сдачи лабораторных работ, проводится экзамен.

Общее количество часов по данной дисциплине – 150, количество аудиторных часов на заочной форме получения образования 16 (по видам занятий из них: 8 часов – лекции, 4 часа – практические, 4 часа – лабораторные занятия), по завершении которых, сдачи лабораторных работ и тестирования проводится экзамен.

БрГУ им. А.С. Пушкина

**СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА
ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН**

№ п/п	Наименование частей, разделов и тем	Количество аудиторных часов			
		Всего	В том числе		
			лекции	прак- тич.	лаб.
	Биомеханика	54	28	8	18
1	Раздел 1 Общая и дифференциальная биомеханика	26	18	8	
1.1	Предмет, содержание и метод биомеханики	2	2		
1.2	Биомеханический анализ двигательных действий	2	2		
1.3	Биомеханические системы, обеспечивающие движения человека	4	2	2	
1.4	Биомеханические характеристики движений человека	6	4	2	
1.5	Биомеханика двигательных действий	4	2	2	
1.6	Двигательные действия как системы движений	4	2	2	
1.7	Структура системы движений	2	2		
1.8	Биомеханика двигательных качеств	2	2		
2	Раздел 2 Частная биомеханика	10	10		
2.1	Биомеханические основы лёгкой атлетики	2	2		
2.2	Биомеханические основы лыжного спорта	2	2		
2.3	Биомеханические основы гимнастики	2	2		
2.4	Биомеханические основы спортивных игр	2	2		
2.5	Биомеханические основы плавания	2	2		
	Лабораторные работы	18			18
1	Определение ОЦМТ графическим способом	4			4
2	Определение ОЦМТ аналитическим способом	4			4
3	Построение биомеханической схемы двигательного действия	2			2
4	Расчет по координатам линейных скоростей и ускорений	4			4
5	Расчет угловых скоростей и ускорений по угловым координатам	4			4
	Всего:	54	28	8	18

Раздел 1 Общая и дифференциальная биомеханика

Тема 1.1 Предмет, содержание и метод биомеханики

Понятие о биомеханике. Предмет, общая и частные задачи биомеханики. Понятие о формах движения. Механические движения в живых системах. Двигательная деятельность человека. Взаимосвязь биомеханики с другими науками. Развитие биомеханики спорта. Современный этап развития биомеханики спорта.

Тема 1.2 Биомеханический анализ двигательных действий

Основные направления развития биомеханики: механическое, функционально-анатомическое, физиологическое, системно-структурное. Методики регистрации и изучения движений. Этапы простого биомеханического анализа. Критерии оптимальности. Аппаратурный (сложный) биомеханический анализ.

Тема 1.3 Биомеханические системы, обеспечивающие движения человека

Биокинематические пары и цепи, их виды. Костные рычаги и их характеристики. Степени свободы движений.

Механические свойства костей и суставов. Механические и биологические свойства мышц. Механика мышечного сокращения. Разновидности работы мышц.

Строение биомеханической системы. Свойства биомеханической системы. Особенности режима движений: статический, динамический, колебательный (многократный, однократный, усечённый).

Тема 1.4 Биомеханические характеристики движений человека

Виды биомеханических характеристик. Системы отсчета расстояния и времени: начало, направление и единицы отсчёта. Тела отсчёта: инерциальные и неинерциальные.

Кинематические характеристики. Пространственные характеристики: координата перемещение, траектория. Временные характеристики: момент времени, длительность движения тела и его частей, темп и ритм движения. Пространственно-временные характеристики: скорости и ускорения точек и звеньев тела. Виды скоростей и ускорений.

Динамические характеристики. Инерционные характеристики: масса, момент инерции, радиус инерции. Силовые характеристики: сила и момент силы, импульс силы и момента силы, количество движения и кинетический момент. Энергетические характеристики: работа силы, мощность, кинетическая и потенциальная энергия.

Тема 1.5 Биомеханика двигательных действий

Кинематические особенности движений человека: составное движение, направления движений (возвратно-поступательное, возвратно-вращательное,

круговое). Динамические особенности движений человека. Действия сил на биокинематические цепи: движущие, тормозящие, отклоняющие, возвращающие.

Силы в движениях человека. Силы внешние относительно тела человека: сила тяжести, вес тела, сила инерции внешних сил, силы упругой деформации, сила реакции опоры, сила трения, силы действия среды (выталкивающая, лобовое сопротивление, подъёмная). Силы внутренние относительно тела человека: силы мышечной тяги, силы пассивного противодействия. Роль сил в движениях человека. Совместное действие сил при выполнении двигательной деятельности.

Биоэнергетика двигательных действий. Получение, превращение и преобразование энергии при выполнении двигательных действий. Расходование энергии.

Биомеханика дыхательных движений. Механизмы обеспечения актов вдыхания и выдыхания. Типы дыхания. Способы сочетания движения и дыхания. Особенности дыхания в процессе двигательной деятельности различной интенсивности.

Тема 1.6 Двигательные действия как системы движений

Элементы системы движений: состав и структура. Пространственные образующие элементы системы движений. Положения тела: горизонтальные, вертикальные, наклонные. Позы: прогнувшись, согнувшись, в группировке. Суставные движения: одновременные, последовательные, поочередные. Исходные, промежуточные и конечные положения. Направления, размах и форма движений. Количественная и качественная оценка пространственных образующих элементов системы движений.

Временные образующие элементы системы движений: фаза, период и цикл двигательного действия. Биомеханическая оценка временных образующих элементов системы движений.

Динамические образующие элементы системы движений: энергообеспечивающие, энергокорректирующие, предварительные и завершающие движения. Прямые и косвенные средства информации о двигательных действиях. Биомеханическая оценка динамических образующих элементов системы движений.

Тема 1.7 Структура системы движений

Системообразующие взаимосвязи и взаимодействия (внутренние и внешние) системы движений. Виды структур в системе движений.

Кинематическая структура: пространственная, временная, пространственно-временная. Динамическая структура: биостатическая, биодинамическая, анатомическая, силовая. Информационная структура: сенсорная, психологическая, эффекторная. Дифференцированная структура. Обобщённая структура: ритмическая, фазовая, координационная.

Координация движений человека. Виды координации: нервная, мышечная, двигательная. Осуществление координации движений человека.

Понятие о логической схеме биодинамической структуры. Её основные компоненты.

Тема 1.8 Биомеханика двигательных качеств

Понятие о моторике человека как совокупности его двигательных возможностей. Двигательные качества – качественно различные стороны моторики. Явные (видимые, доступные непосредственному измерению) и латентные (скрытые, недоступные непосредственному измерению) показатели двигательных качеств.

Биомеханическая характеристика силовых качеств. Зависимость силы действия человека от параметров двигательных заданий (перемещаемой массы, скорости, направления движения, природы сил сопротивления). Положение тела и силы действия человека. Топография силы. Биомеханические особенности силы отдельных мышечных групп.

Биомеханическая характеристика скоростных качеств. Динамика скорости. Скорость изменения силы (градиент силы). Параметрические и непараметрические зависимости между силовыми и скоростными качествами. Биомеханические аспекты двигательных реакций.

Биомеханическая характеристика выносливости. Утомление и его биомеханические проявления. Выносливость и способы ее измерения. Биомеханические основы экономизации спортивной техники. Особенности спортивной техники в упражнениях, требующих большой выносливости.

Биомеханическая характеристика гибкости. Методы ее измерения. Активная и пассивная гибкость. Влияние гибкости на спортивную технику.

Раздел 2 Частная биомеханика

Тема 2.1 Биомеханические основы лёгкой атлетики

Взаимодействие тела легкоатлета с опорой. Роль маховых движений. Кинематика (скорость, длина шага и темп, фазовый состав и ритм) и динамика и энергетика ходьбы и бега. Биодинамика прыжков в длину с разбега. Биомеханические закономерности метаний. Фазовый состав метаний. Биомеханические факторы, определяющие точность и дальность метаний.

Тема 2.2 Биомеханические основы лыжного спорта

Кинематика, динамика и энергетика передвижения на лыжах. Силы, действующие на тело лыжника. Биодинамика стоек спуска и способов подъёма. Биодинамика попеременных ходов. Биодинамика одновременных ходов. Биомеханические требования к инвентарю и одежде лыжника.

Тема 2.3 Биомеханические основы гимнастики

Равновесие тела человека. Позы и положения тела. Условия равновесия тела и системы тел. Кинематика и динамика взаимодействия с опорой. Движения вокруг осей звеньев тела человека и всего тела. Силы, вызывающие движения вокруг осей. Изменение угловой скорости. Биодинамика подъёма разгибом, переворота боком и соскока махом вперёд.

Тема 2.4 Биомеханические основы спортивных игр

Общие основы бросков. Фазы и виды ударных действий. Механизм броска и ударное взаимодействие. Биодинамика броска мяча в баскетболе и гандболе. Биомеханические особенности удара по мячу в волейболе и футболе.

Тема 2.5 Биомеханические основы плавания

Статическое действие водной среды. Кинематика плавания. Скорость, темп и ритм движений пловца. Динамика и энергетика плавания. Силы, действующие на тело пловца. Условия и эффективность гребковых движений руками и ногами. Биомеханические особенности плавания способами «кроль» и «дельфин».

Лабораторные работы

Тема 1 Определение ОЦМТ графическим способом

Измерить длину отдельных звеньев тела. Построить проекции осей суставов тела человека в спортивной позе. Определить ЦТ всех звеньев тела человека. Графическим способом определить положение ОЦМТ тела человека.

Тема 2 Определение ОЦМТ аналитическим способом

Построить проекции осей суставов тела человека в спортивной позе в одной из четвертей координатных осей. Определить ЦТ всех звеньев тела человека. Аналитическим способом определить положение ОЦМТ тела человека. Графическим способом определить положение ОЦМТ тела человека.

Тема 3 Построение биомеханической схемы двигательного действия

Начертить таблицу координат и внести в нее все значения точек тела. Построить промер, нанося точки всех поз и проведя все линии, соединяющие точки.

Тема 4 Расчет по координатам линейных скоростей и ускорений

Используя данные лабораторной работы № 3 рассчитать скорости и ускорения для всех точек.

Тема 5 Расчет угловых скоростей и ускорений по угловым координатам

Перенести на лист бумаги с кинограммы положения ОЦМТ, оси перекладины и вертикали. Заготовить таблицу для записи угловых положений, расчета угловых скоростей и угловых ускорений. Определить угловые положения и записать в таблицу. Рассчитать скорости и ускорения для ОЦМТ.

БрГУ им. А.С. Пушкина

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
(дневная форма получения образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Управляемая самостоятельная работа студента		
1	2	3	4	5	6	8	9
	Биомеханика (всего 54 часа)	28	8	18			экзамен
1	Раздел 1 Общая и дифференциальная биомеханика (44 часа)	18	8	18			
1.1	Предмет, содержание и метод биомеханики 1.Общая характеристика. 2.Понятие о формах движения. 3.Объект познания и область изучения биомеханики. 4. Задачи биомеханики.	2	2			1,2,3,4]	
1.2	Биомеханический анализ двигательных действий 1. Методика изучения движений. 2. Простой биомеханический анализ. 3. Аппаратурный биомеханический анализ.	2				[1,2,3,4]	
1.3	Биомеханические системы, обеспечивающие движения человека 1. Строение БМС. 2. Механические свойства костей и суставов. 3. Биодинамика мышц. 4. Свойства и особенности режима движений БМС.	2	2			[1,2,3,4]	опрос
1.4	Биомеханические характеристики движений человека 1. Понятие о БМХ и их виды. 2. Система отсчета расстояния и времени.	4	2			[1,2,3,4]	опрос

	3. Кинетические характеристики. 4. Динамические характеристики.						
1.5	Биомеханика двигательных действий 1. Кинетические особенности в движениях человека. 2. Динамические особенности в движениях человека. 3. Силы в движениях человека (внутренние, внешние). 4. Биоэнергетика двигательных действий. 5. Биомеханика дыхательных движений	2	2			[1,2,3,4]	опрос
1.6	Двигательное действие как система движений 1. Понятие о двигательном действии как системе движений 2. Пространственные образующие элементы системы движений и их биомеханическая оценка. 3. Временные образующие элементы системы движений и их биомеханическая оценка. 4. Динамические образующие элементы системы движений и их биомеханическая оценка.	2	2			[1,2,3,4]	опрос
1.7	Структура системы движений 1. Кинематическая структура: пространственная, временная, пространственно-временная. 2. Динамическая структура: биостатическая, биодинамическая, анатомическая, силовая. 3. Информационная, дифференцированная и обобщенная структуры. 4. Координация движений человека. Виды координации.	2				[1,2,3,4]	
1.8	Биомеханика двигательных качеств 1. Понятие о моторике человека как совокупности его двигательных возможностей. 2. Биомеханическая характеристика силовых качеств. 3. Биомеханическая характеристика скоростных качеств.	2				[1,2,3,4]	

	4. Биомеханическая характеристика выносливости. 5. Биомеханические основы экономизации спортивной техники. 6. Биомеханическая характеристика гибкости.						
2	Раздел 2 Частная биомеханика (10 час.)	10					
2.1	Биомеханические основы лёгкой атлетики 1. Взаимодействие тела легкоатлета с опорой. 2. Биодинамика прыжков в длину с разбега. 3. Биомеханические закономерности метаний.	2				[1,2,3,4]	
2.2	Биомеханические основы лыжного спорта 1. Кинематика, динамика и энергетика передвижения на лыжах. 2. Биодинамика стоек спуска и способов подъёма. Биодинамика попеременных ходов. Биодинамика одновременных ходов. 3. Биомеханические требования к инвентарю и одежде лыжника.	2				[1,2,3,4]	
2.3	Биомеханические основы гимнастики 1. Равновесие тела человека. Позы и положения тела. 2. Условия равновесия тела и системы тел. 3. Биодинамика подъёма разгибом, переворота боком и соскока махом вперёд.	2				[1,2,3,4]	
2.4	Биомеханические основы спортивных игр 1. Общие основы бросков. 2. Фазы и виды ударных действий. Механизм броска и ударное взаимодействие. 3. Биодинамика броска мяча в баскетболе и гандболе. 4. Биомеханические особенности удара по мячу в волейболе и футболе.	2				[1,2,3,4]	
2.5	Биомеханические основы плавания 1. Статическое действие водной	2				[1,2,3,4]	

	<p>среды.</p> <p>2. Кинематика плавания. Скорость, темп и ритм движений пловца. Динамика и энергетика плавания. Силы, действующие на тело пловца.</p> <p>3. Условия и эффективность гребковых движений руками и ногами.</p> <p>4. Биомеханические особенности плавания способами «кроль» и «дельфин».</p>					
	Лабораторные работы (18 час.)			18		
1	<p>Определение ОЦМТ графическим способом</p> <p>1. Измерение объекта исследования.</p> <p>2. Составление схемы.</p> <p>3. Расчет ЦМ и ОЦМ всего тела</p>			4	[2]	опрос
2	<p>Определение ОЦМТ аналитическим способом</p> <p>1. Измерение объекта исследования.</p> <p>2. Составление схемы.</p> <p>3. Расчет ЦМ и ОЦМ всего тела.</p>			4	[2]	опрос
3	<p>Построение биомеханической схемы двигательного действия</p> <p>1. Начертить таблицу координат и внести в нее все значения точек тела.</p> <p>2. Построить промер, нанося точки всех поз и проведя все линии, соединяющие точки</p>			2		опрос
4	<p>Расчет по координатам линейных скоростей и ускорений</p> <p>Используя данные лабораторной работы №3 рассчитать скорости и ускорения для всех точек.</p>			4		опрос
5	<p>Расчет угловых скоростей и ускорений по угловым координатам</p> <p>1. Перенести на лист бумаги с кинограммы положения ОЦМТ, оси перекладины и вертикали.</p> <p>2. Заготовить таблицу для записи угловых положений, расчета угловых скоростей и угловых ускорений.</p> <p>3. Определить угловые положения и записать в таблицу. Рассчитать скорости и ускорения для ОЦМТ.</p>			4		опрос

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ (ЗФО)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Управляемая самостоятельная работа студента		
1	2	3	4	5	6	8	9
	Биомеханика (всего 16 часов)	8	4	4			экзамен
1	Раздел 1 Общая и дифференциальная биомеханика (16 часов)	8	4	4			
1.1	Предмет, содержание и метод биомеханики 1. Общая характеристика. 2. Понятие о формах движения. 3. Объект познания и область изучения биомеханики. 4. Задачи биомеханики.	2				[1,2,3,4]	
1.2	Биомеханический анализ двигательных действий 2. Методика изучения движений. 2. Простой биомеханический анализ. 3. Аппаратурный биомеханический анализ.	2				[1,2,3,4]	
1.3	Биомеханические системы, обеспечивающие движения человека 1. Строение БМС. 2. Механические свойства костей и суставов. 3. Биодинамика мышц. 4. Свойства и особенности режима движений БМС.		2			[1,2,3,4]	опрос
1.4	Биомеханические характеристики движений человека 1. Понятие о БМХ и их виды. 2. Система отсчета расстояния и времени. 3. Кинетические характеристики.		2			[1,2,3,4]	опрос

	4. Динамические характеристики.						
1.5	Биомеханика двигательных действий 1. Кинетические особенности в движениях человека. 2. Динамические особенности в движениях человека. 3. Силы в движениях человека (внутренние, внешние). 4. Биоэнергетика двигательных действий. 5. Биомеханика дыхательных движений	2				[1,2,3,4]	
1.6	Двигательное действие как система движений 1. Понятие о двигательном действии как системе движений 2. Пространственные образующие элементы системы движений и их биомеханическая оценка. 3. Временные образующие элементы системы движений и их биомеханическая оценка. 4. Динамические образующие элементы системы движений и их биомеханическая оценка.	2				[1,2,3,4]	
	Лабораторные работы (4 часа)			4			
1	Определение ОЦМТ графическим способом 1. Измерение объекта исследования. 2. Составление схемы. 3. Расчет ИМ и ОЦМ всего тела			2		[2]	опрос
2	Определение ОЦМТ аналитическим способом 1. Измерение объекта исследования. 2. Составление схемы. 3. Расчет ЦМ и ОЦМ всего тела.			2		[2]	опрос

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

РАЗДЕЛ 1 ОБЩАЯ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ БИОМЕХАНИКА

ТЕМА 1.1 ПРЕДМЕТ, СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОД БИОМЕХАНИКИ

1. ПОНЯТИЕ О БИОМЕХАНИКЕ И О ФОРМАХ ДВИЖЕНИЯ
2. ПРЕДМЕТ, ОБЪЕКТ ПОЗНАНИЯ, ОБЛАСТЬ ИЗУЧЕНИЯ БИОМЕХАНИКИ
3. ЗАДАЧИ БИОМЕХАНИКИ
4. СОДЕРЖАНИЕ БИОМЕХАНИКИ
5. СВЯЗИ БИОМЕХАНИКИ С ДРУГИМИ НАУКАМИ
6. СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ БИОМЕХАНИКИ

1. ПОНЯТИЕ О БИОМЕХАНИКЕ И О ФОРМАХ ДВИЖЕНИЯ

Цель курса – ознакомить с биомеханическими основами физических упражнений, в частности с основами спортивной техники; вооружить студентов знаниями, необходимыми для правильного применения физических упражнений как средства физического воспитания. В курсе биомеханики раскрывается сложность движений человека, закономерности которых используются при совершенствовании его двигательной деятельности.

В результате изучения курса студенты должны овладеть биомеханическим анализом как методом исследования, как особым способом мышления, позволяющим раскрывать специфику физики живого, понимать суть движений в двигательной деятельности. Кроме решения образовательных задач в процессе изучения биомеханики важно решать воспитательные задачи, используя для формирования диалектико-материалистического мировоззрения богатейший материал изучения форм движения материи и их развития.

Содержание курса отражает современное состояние биомеханики как биологической науки с педагогической направленностью и развитие ее как учебной дисциплины. В ней выделяют части и отрасли (рисунок 1).

Биомеханика – наука, которая изучает механическое движение в животных организмах, его причины и проявления.

Физика, химия, биология и другие науки изучают законы разных форм движения материи в неживой природе, в живой природе и в обществе. Самое простое движение – пространственное перемещение тел – исследует механика.

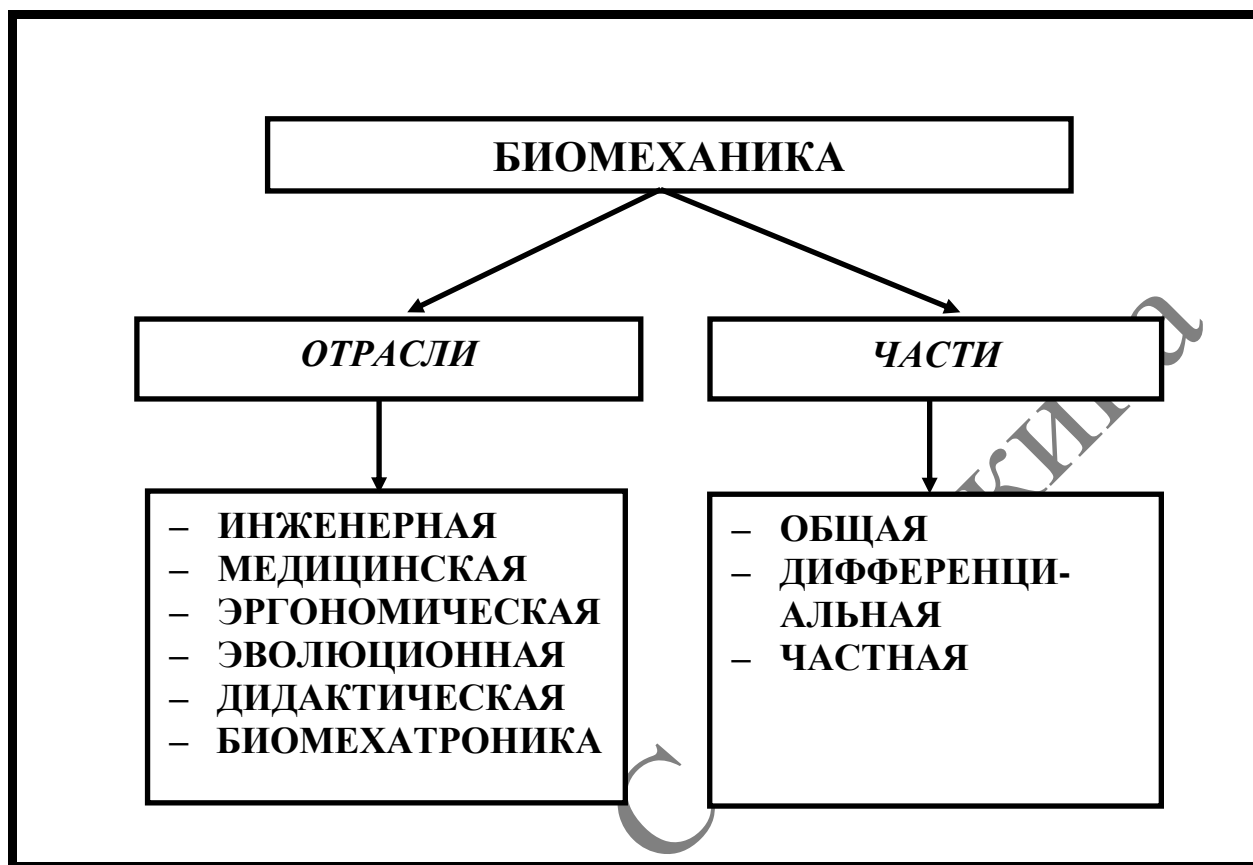


Рисунок 1 – Структура современной биомеханики

Для лучшего понимания сути и роли механического движения в животных организмах следует рассмотреть основные понятия о движении вообще. Движение есть форма существования материи. Все в мире движется. В движении находятся звездные миры, наша Земля, человек, части его тела, молекулы его клеток, атомы, их элементарные частицы; одной из форм движения материи является мышление.

Всем известны слова Ф. Энгельса: «Движение, рассматриваемое в самом общем смысле слова, т. е. понимаемое как форма бытия материи, как внутренне присущий материи атрибут, обнимает собою все происходящие во вселенной изменения и процессы, начиная от простого перемещения и кончая мышлением»,

Следовательно, движением в философском понимании называют всякое изменение вообще. Все существующее в мире – материя, которая вечно движется, изменяется. Материя без движения немислима, как немислимо и движение без материи.

Ф. Энгельс различал **простые** формы движения материи – механическую, физическую и химическую, которые проявляются как в неживой, так и в живой природе, и **сложные**, высшие, формы движения –

биологическую (все живое) и социальную (общественные отношения, мышление) (рисунок 2).

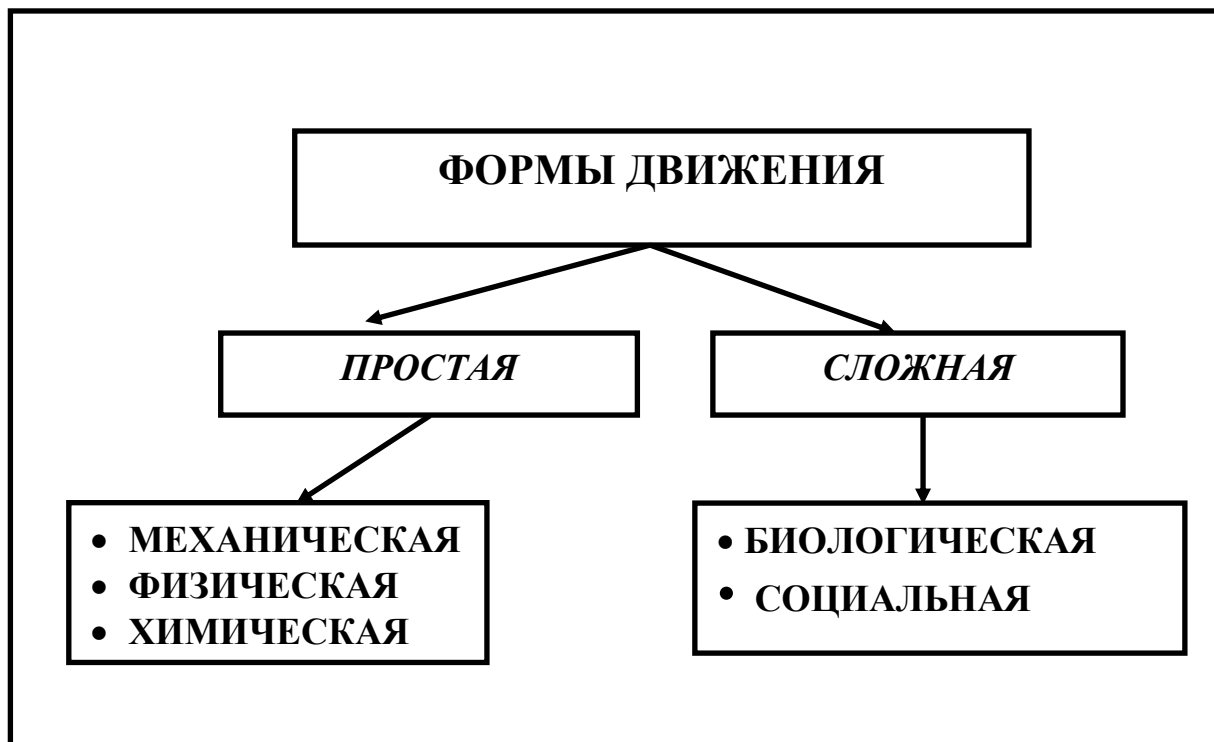


Рисунок 2 – Формы движения

С развитием наук все более углубляется изучение ранее известных форм движения, и выдвигаются на обсуждение новые (например, кибернетическая – как движение информации).

Каждая более сложная форма движения включает в себя и более простые. Простейшая форма – механическая – существует везде. Но чем форма движения выше, тем менее существенна механическая форма, движение качественно характеризуется соответственно более высокой формой. Таким образом, каждая высшая форма обладает качественной спецификой и не «сводима» к низшим, в то же время она неразрывно связана с ними.

Движения человека представляют собою механическое перемещение живого организма, это – одно из сложнейших явлений в мире. Они сложны не только потому, что в его двигательной деятельности очень непросты функции органов движения, но и потому, что в ней отражается его сознание как функция наиболее высокоорганизованной материи – мозга.

Роль движений в жизни человека велика. Посредством движений он изменяет окружающую природу. В процессе этого изменения развивается организм человека и его сознание.

Даже простейшая форма движения материи – механическая – из-за чрезвычайной сложности строения тела человека и его функций очень не проста. К тому же добавляется сложность взаимодействия механической формы с более высокой – биологической. В биологической механике (биомеханике) и изучаются закономерности как самих механической и биологической форм, так и их взаимодействия. Движение живых существ как биологическое явление может быть понято лишь на основе изучения неразрывной связи биологических и механических закономерностей.

2. ПРЕДМЕТ, ОБЪЕКТ ПОЗНАНИЯ, ОБЛАСТЬ ИЗУЧЕНИЯ БИОМЕХАНИКИ

Предмет любой науки, в том числе и биомеханики, определяется специфическим объектом познания – кругом явлений и процессов, закономерности которых изучает та или иная наука. В этом объекте каждая из них имеет свою область изучения.

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

Биомеханика возникла и развивается как наука о движениях животных организмов, в частности человека.

У животных организмов движутся не только части тела – органы опоры и движения. Смещаются внутренние органы, жидкости в сосудах и полостях, воздух в дыхательной системе и т.п. Эти механические процессы в биомеханике еще почти не исследованы, поэтому до сих пор объектом познания в ней принято считать только движения тела. В принципе же к биомеханике следует относить все проявления механического движения в животных организмах.

В норме человек производит не просто движения, а всегда действия (Н. А. Бернштейн); они ведут к известной цели, имеют определенный смысл. Поэтому человек выполняет их активно, целенаправленно, управляя ими, причем все движения тесно взаимосвязаны – объединены в системы.

В действиях человека движения выполняются обычно не все время и не всегда во всех суставах. Части его тела иногда сохраняют свое относительное положение почти неизменным. В активном сохранении положения, как и в активных движениях, участвуют мышцы. Следовательно, человек совершает двигательные действия посредством активных движений и сохраняя при необходимости взаимное

расположение тех или иных звеньев тела. Системы активных движений, а также сохранение положений тела при двигательных действиях и изучаются в курсе биомеханики.

Область изучения биомеханики – механические и биологические причины возникновения движений и особенности их выполнения.

Движения частей тела человека представляют собою перемещения в пространстве и времени, которые выполняются во многих суставах одновременно и последовательно. Движения в суставах по своей форме и характеру очень разнообразны, они зависят от действия множества приложенных сил. Все движения закономерно объединены в целостные организованные действия, которыми человек управляет при помощи мышц. Учитывая сложность движений человека, в биомеханике исследуют и механическую и биологическую их стороны, причем обязательно в тесной взаимосвязи.

Поскольку человек выполняет всегда осмысленные действия, его интересует, как можно достичь цели, насколько хорошо и легко это получается в данных условиях. Чтобы результат был лучше и достичь его было легче, человек сознательно учитывает и использует условия, в которых надо действовать. Кроме того, он учится более совершенно выполнять движения. Биомеханика человека учитывает эти его способности, чем существенно отличается от биомеханики животных, ни одно из которых не обладает ими. Таким образом, биомеханика человека изучает также, какой способ и какие условия выполнения действий лучше и как овладеть ими.

Биомеханика разделяется на: а) общую, исследующую общие закономерности всех видов двигательных действий, и б) частные разделы, которые изучают закономерности движений, специфичных для физических упражнений (в том числе и спортивных), труда, реабилитации (восстановление утраченных или нарушенных функций) и дифференцированную, изучающую особенности двигательной деятельности различных контингентов занимающихся.

3. ЗАДАЧИ БИОМЕХАНИКИ

Общая задача изучения движений состоит в оценке эффективности приложения сил для достижения поставленной цели.

Всякое изучение движений направлено на то, чтобы помочь лучше выполнять их. Прежде чем приступить к разработке лучших способов действий, необходимо оценить уже существующие. Отсюда вытекает самая общая задача биомеханики, сводящаяся к оценке эффективности

способов выполнения изучаемого движения. При таком подходе сопоставляют то, что есть в движениях, с тем, что требуется (рисунок 3).

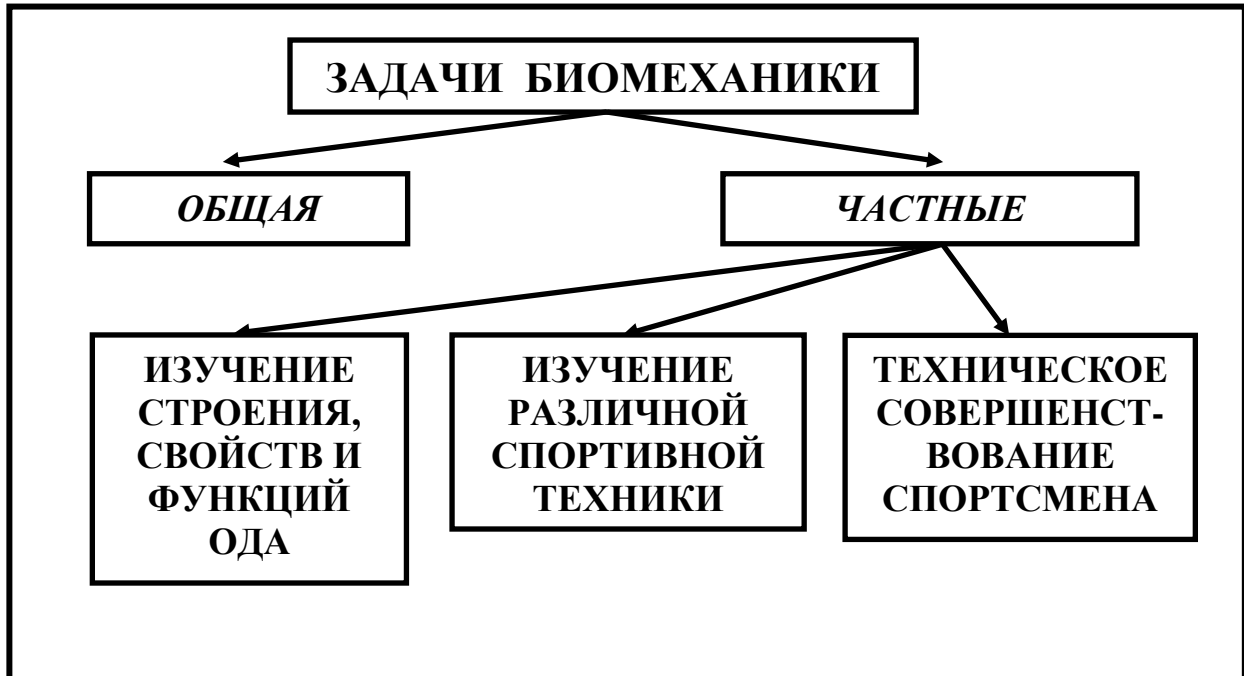


Рисунок 3 – Задачи биомеханики

Биомеханика исследует, «каким образом полученная механическая энергия движения и напряжения может приобрести рабочее применение», – писал А. А. Ухтомский. Рабочий эффект измеряется тем, как используется затраченная энергия. Для этого определяют, какие силы совершают полезную работу, каковы они по происхождению, когда и где приложены. То же самое должно быть известно о силах, которые производят вредную работу, снижающую эффективность полезных сил. Такое изучение дает возможность сделать выводы о том, как повысить эффективность действия. Это общая задача. По ходу ее решения возникают многие частные задачи, не только предусматривающие непосредственную оценку эффективности, но и вытекающие из общей задачи и ей подчиненные.

Частные задачи биомеханики состоят в изучении движений человека в двигательной деятельности и изучении приводимых им в движение физических объектов, а также в изучении результатов решения двигательной задачи и условий, в которых оно осуществляется.

В биомеханических исследованиях может решаться большое количество частных задач, которые возникают в связи с многообразными запросами практики. Эти задачи вызваны необходимостью создавать новые системы движений или улучшать существующие для того, чтобы обучать наиболее совершенным.

Знание закономерностей явления дает возможность предвидеть его последствия. Предвидение при обучении движениям позволяет планировать, обоснованно выбирать путь достижения цели и осуществлять надежный контроль за продвижением по этому пути.

В двигательной деятельности человека решается много двигательных задач. Для достижения поставленных целей используется много разных способов выполнения действий. При решении одной и той же задачи часто существует несколько вариантов действия. В связи с этим, изучая движения человека, устанавливают особенности выполнения различных способов действия. Выясняют внешнюю картину движений – их форму и характер; устанавливают механизм движений – приложенные силы, вызванные ими изменения движений человека и тех физических объектов, которые он приводит в движение. Все изучаемые стороны движений позволяют понять закономерности, лежащие в основе выполнения разных способов движений.

Разнообразие двигательных задач очень велико. Может потребоваться быстрое выполнение движений, или точность движений в соответствии с заданным образцом, либо проявление большой силы, значительной выносливости и многое другое. Результат выполнения задачи может быть определен с помощью соответствующих показателей. Чтобы оценить качество выполнения задачи, определяют, насколько соответствует фактическое выполнение движений требуемому результату. Для этого изучают не только способ выполнения действия, но и результат решения двигательной задачи. Сопоставление движений с их результатами позволяет найти движения, наиболее рациональные для решения поставленной задачи.

С изменением условий, в которых выполняются движения, могут измениться способ выполнения действия и результат решения двигательной задачи. Поэтому очень важно установить, каким образом изменение условий двигательной деятельности влияет на способ выполнения движения и его результат. Условия деятельности разделяются на внешние и внутренние.

К **внешним** относятся все факторы, связанные с внешним окружением, в котором человек осуществляет свою деятельность. К **внутренним** условиям деятельности относятся как более общие – уровень подготовленности двигательного аппарата человека, степень работоспособности во время выполнения движений и т. п., так и более частные – все многообразие особенностей приспособления организма к выполнению определенного действия. Изучая движения человека, устанавливают их зависимость от условий выполнения действия, выявляют условия, способствующие лучшему решению задачи или

ухудшающие результат действия. Определяют, какие способы выполнения движений лучше соответствуют имеющимся условиям действия.

Для решения каждой из названных частных задач в биомеханическом исследовании выделяют ряд еще более узких вопросов, которые подлежат детальному изучению. Кроме того, бывает необходимо глубже изучать как особенности приспособления двигательного аппарата к более совершенному выполнению тех или иных сложных действий, так и тонкие детали способов выполнения движений.

4. СОДЕРЖАНИЕ БИОМЕХАНИКИ

В теории биомеханики рассматриваются: строение и свойства, а также развитие тела человека как биомеханической системы; эффективность двигательных действий как систем движений; формирование и совершенствование движений в двигательных действиях (рисунок 4).

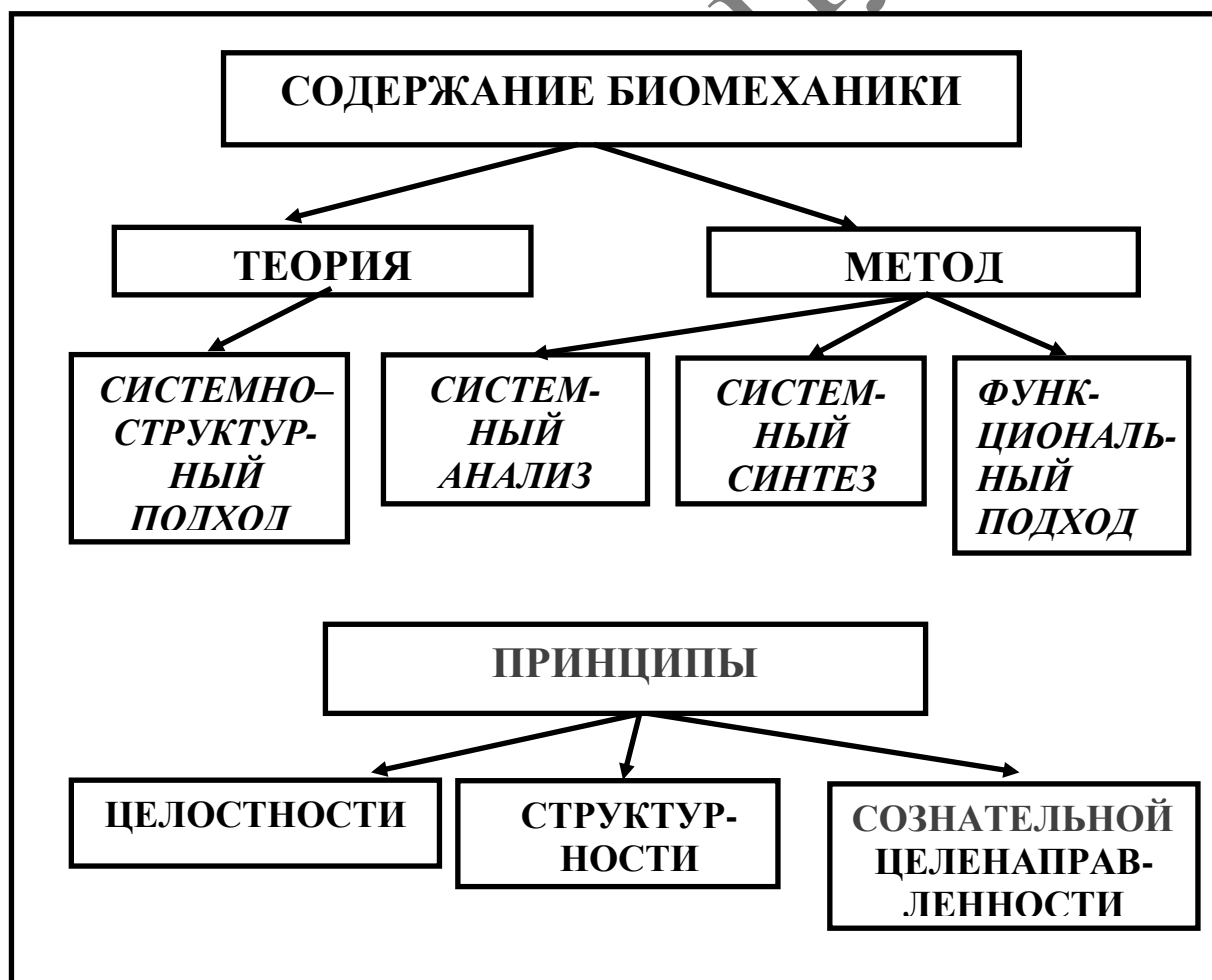


Рисунок 4 – Содержание биомеханики

В каждой области знания разрабатывается ее теория. Теория науки – это логическое обобщение опыта, которое выражено в основных идеях. Эти идеи, с одной стороны, вытекают из ранее изученных фактов, с другой – помогают лучше понять то, что еще не изучено. С течением времени, благодаря новым фактам и новым подходам при их использовании, в теорию вносят поправки, уточнения, нередко коренные изменения, опровергающие некоторые ранее сложившиеся представления, – теория развивается.

Теория биомеханики в настоящее время охватывает **три** большие проблемы. Рассмотрим их по порядку.

Особенности строения и свойства животных организмов оказывают существенное влияние на закономерности их движений. Исходя из этого, тело человека рассматривают как биомеханическую систему. С давних пор органы опоры и движения сравнивают с рычагами. Ранее указывали лишь на то, что, изучая движения таких рычагов, надо учитывать анатомо-физиологические особенности тела человека.

Следующим этапом в понимании природы движений было признание специфики биомеханических систем, отличных в принципе от твердых тел или систем твердых тел. Эта специфика заставляет изучать такие свойства биомеханических систем, которых нет в искусственных конструкциях, машинах, создаваемых человеком. Поэтому в теории биомеханики возникла проблема изучения строения и свойств биомеханических систем, а также их развития.

Для решения общей задачи биомеханики необходимо изучение специфических особенностей самих процессов движения живого организма и условий, обеспечивающих эффективность приложения сил. Для движений животных характерно сочетание множества движений в суставах в единое целое – систему движений. С этим связано возникновение в теории биомеханики проблемы изучения эффективности двигательных действий как систем движений, их особенностей и развития.

Чрезвычайно важно изучение изменения движений в процессе овладения двигательными действиями как системами движений (двигательными актами, приемами выполнения действий). В связи с этим в теории биомеханики возникла проблема изучения закономерностей формирования и совершенствования движений.

Метод биомеханики – системный анализ и системный синтез движений на основе количественных характеристик, в частности кибернетическое моделирование движений.

Метод науки – это способ исследования, путь познания закономерностей. Метод определяется теорией, ее основными идеями и в то же время сам определяет способ получения знаний в данной науке.

В теории биомеханики двигательные действия рассматриваются как сложные системы, состоящие из множества движений. Такой подход требует при их изучении применения системного анализа и синтеза. Биомеханика, как наука экспериментальная, эмпирическая, опирается на опытное изучение движений.

При помощи приборов регистрируются количественные особенности движений (характеристики), например траектории, скорости, ускорения и др., позволяющие различать движения, сравнивать их между собой. Рассматривая характеристики, мысленно расчленяют систему движений на составные части – устанавливают ее *состав*. В этом проявляется системный анализ.

Система движений как целое не просто сумма ее составляющих частей. Части системы объединены многочисленными взаимосвязями, придающими ей новые, не содержащиеся в ее частях качества (системные свойства). Необходимо мысленно представлять это объединение, устанавливать способ взаимосвязи частей в системе – ее *структуру*. В этом проявляется системный синтез.

Обе стороны – системный анализ и синтез – одинаково необходимы для познания системности в строении тела движущегося человека и в его движениях.

При изучении движений в процессе развития системного анализа и синтеза в последние годы все шире применяют метод кибернетического моделирования – построения управляемых моделей (электронных, математических, физических и др.) движений и моделей тела человека.

В ходе развития той или иной науки формируются научные понятия. При помощи условных слов (терминов) в них выражают содержание изучаемых явлений, их свойств и отношений. Научное понятие уже есть итог изучения. К научным понятиям биомеханики относятся система движений, кинематическая структура, встречные движения и др.

В процессе развития науки устанавливают научные законы, в которых выражаются объективные, существенные, устойчивые, постоянно повторяющиеся взаимосвязи изучаемых явлений, их свойства и отношения.

5. СВЯЗИ БИОМЕХАНИКИ С ДРУГИМИ НАУКАМИ

Биомеханика как раздел биофизики зародилась в связи с развитием физических и биологических наук. В настоящее время успехи этих наук сказываются на развитии биомеханики. В свою очередь, физические и биологические науки могут обогащаться данными биомеханики о физике живого. Изучение биомеханических систем открывает новые пути для

понимания анатомического строения и физиологических функций двигательного аппарата. В биомеханических исследованиях могут применяться методы смежных наук.

Биомеханика тесно связана со смежными с нею специальными науками (механика твердого тела, теория упругости, аэрогидромеханика, кибернетика, анатомия, физиология, психология, педагогика, теория и методика физического воспитания, теория и методика частных спортивных дисциплин). Связи с другими науками проявляются в настоящем курсе в использовании подходов, а также привлечении понятий, законов этих наук, при сохранении собственной специфики биомеханического изучения движений. Логика изложения курса, последовательность введения понятий и законов определяются именно этой спецификой.

Различают законы динамические, в которых следствие всегда однозначно связано с причиной, зависит от одной причины, и статистические (вероятностные), которые проявляются при рассмотрении массовых явлений, когда следствие зависит от многих причин. Статистические законы характеризуют вероятность явления, процесса. Именно они характерны для живых организмов, в то же время специальные исследования проблем этих наук могут проводиться с применением биомеханических методов. Здесь налицо двусторонняя связь, обеспечивающая взаимное обогащение теории и методов исследования.

Несколько иная взаимосвязь биомеханики с отраслями знания, в которых изучают конкретные области двигательной деятельности: с теорией физического воспитания, клинической медициной, космической и авиационной биологией, физиологией труда и др. В этих отраслях знания используются теоретические выводы и практические результаты биомеханических исследований. Кроме того, в ходе развития этих отраслей выдвигаются проблемы, требующие исследований с применением биомеханических методов, с использованием понятий, законов биомеханики.

Развитие биомеханики как науки. К предпосылкам возникновения биомеханики как самостоятельной науки относится накопление знаний в области физических и биологических наук, а также развитие техники.

Физика – наука о закономерностях наиболее общих форм движения материи – возникла и достигла высокого уровня развития раньше, чем биология – наука о закономерностях жизни и развития живых организмов.

В Древней Греции во времена Аристотеля (384–322 гг. до н. э.) физикой называли вообще все первоначальные знания о природе. Аристотель первый ввел термин «механика», описал рычаг и другие простейшие машины, пытался путем рассуждений найти причины движений. Некоторые его представления (например, о зависимости

скорости падения в пустоте только от веса тел, о необходимости постоянной силы для поддержания постоянной скорости), не подтвержденные опытом, были впоследствии опровергнуты. Намного долговечнее оказались работы Архимеда (287–212 гг. до н. э.), который заложил основы статики и гидродинамики как точных наук. Они сохранили свое значение до нашего времени.

Развитию механики после долгого застоя наук в средние века способствовали исследования Леонардо да Винчи (1452–1519 гг.) по теории механизмов, трению и другим вопросам. Примечательно, что этот великий художник, математик, механик и инженер впервые высказал важнейшую для будущей биомеханики мысль: «Наука механика потому столь благородна и полезна более всех прочих наук, что, как оказывается, все живые тела, имеющие способность к движению, действуют по ее законам».

Системно-структурный подход требует изучения системы как единого целого, потому что ее свойства не сводятся к свойствам отдельных элементов. Важно изучать не только состав, но и структуру системы, рассматривать во взаимосвязи строение и функцию.

Идеи о системности внес в изучение двигательной деятельности Н. А. Бернштейн. Кибернетический, по сути дела, подход к движениям был им осуществлен более чем за 10 лет до оформления кибернетики как самостоятельной науки.

Современный системно-структурный подход не только не отрицает значения в биомеханике всех направлений, а объединяет их; при этом каждое направление сохраняет в биомеханике свое значение.

6. СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ БИОМЕХАНИКИ

В процессе длительного развития биомеханики сложились ее современные теоретические основы: признание рефлекторной природы систем движений при сложном сочетании произвольного и автоматического управления ими; объяснение механической стороны движений тела человека (биомеханической системы) с точки зрения механики не только абсолютно твердого тела, но и деформируемого тела; рассмотрение двигательных действий как систем, состоящих из множества взаимосвязанных движений; признание зависимости выполнения систем движений и их эффективности от сочетания множества взаимосвязанных внутренних и внешних факторов.

Современная биомеханика относится к биологическим наукам нового типа, широко использующим физико-математический подход и методы. Биомеханика человека в целом имеет педагогическую

направленность: основная цель биомеханических исследований – совершенствовать двигательную деятельность человека в различных ее проявлениях.

Начало развитию биомеханики физических упражнений положил П. Ф. Лесгафт, разработавший курс теории телесных движений. Он начал читать его в 1877 г. на курсах по физическому воспитанию. Этот курс продолжали читать и совершенствовать его ученики. В институте физического образования им. П. Ф. Лесгафта, созданном после Октябрьской революции, этот курс входил в предмет «Физическое образование», а в 1927 г. был выделен в самостоятельный – под названием «Теория движений» и в 1931 г. переименован в курс «Биомеханика физических упражнений».

С 30-х гг. в институтах физической культуры в Москве (Н. А. Бернштейн), Ленинграде (Е. А. Котикова, Е. Г. Котельникова), Тбилиси (Л. В. Чхаидзе), Харькове (Д. Д. Донской) и др. развернулась научная и учебная работа по биомеханике спорта.

С 1958 г. биомеханика включена в учебный план всех институтов физической культуры СССР, после чего начали создаваться кафедры биомеханики. На кафедрах спортивных дисциплин институтов физической культуры широко ведутся биомеханические исследования спортивной техники. Биомеханические методы успешно применяются научными работниками, тренерами для исследования качества техники и контроля над ее совершенствованием.

Преподавание биомеханики в высших физкультурных учебных заведениях и научные исследования осуществляются в ГДР, Польше, Югославии, Румынии, Чехословакии, Болгарии, Венгрии и других странах. В ряде зарубежных стран преподавание этой учебной дисциплины для специалистов физического воспитания ведется под названием «Кинезиология», «Анализ движений» и др. В составе научного комитета по физическому воспитанию и спорту при ЮНЕСКО создана рабочая группа по биомеханике. Проводятся международные совещания и симпозиумы по биомеханике.

Биомеханика физических упражнений способствует теоретическому обоснованию ряда вопросов физического воспитания. Биомеханика спорта составляет одну из основ теории спортивной техники. Она помогает обоснованию наиболее рациональной техники, путей овладения ею и технического совершенствования спортсменов.

СЕМИНАРСКОЕ ЗАНЯТИЕ ПО ТЕМЕ 1.1

1. Что изучает биомеханика?
2. Каковы задачи биомеханики?
3. Раскройте понятия "теория" и "метод" биомеханики спорта.
4. Расскажите об отраслях и частях биомеханики.
5. Каковы основные направления в развитии биомеханики?
6. Расскажите о создании биомеханики физических упражнений и о современном развитии биомеханики спорта.
7. Каково практическое значение биомеханики спорта?

ТЕМА 1.2 БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ

1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ БИОМЕХАНИКИ
2. МЕТОДИКИ РЕГИСТРАЦИИ И ИЗУЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ
3. БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ

1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ БИОМЕХАНИКИ

Механическое направление. Механический подход к изучению движений человека позволяет определить количественную меру двигательных процессов, объяснить физическую сущность механических явлений, раскрывает огромную сложность строения тела человека и его движений с точки зрения физики (рисунок 5).

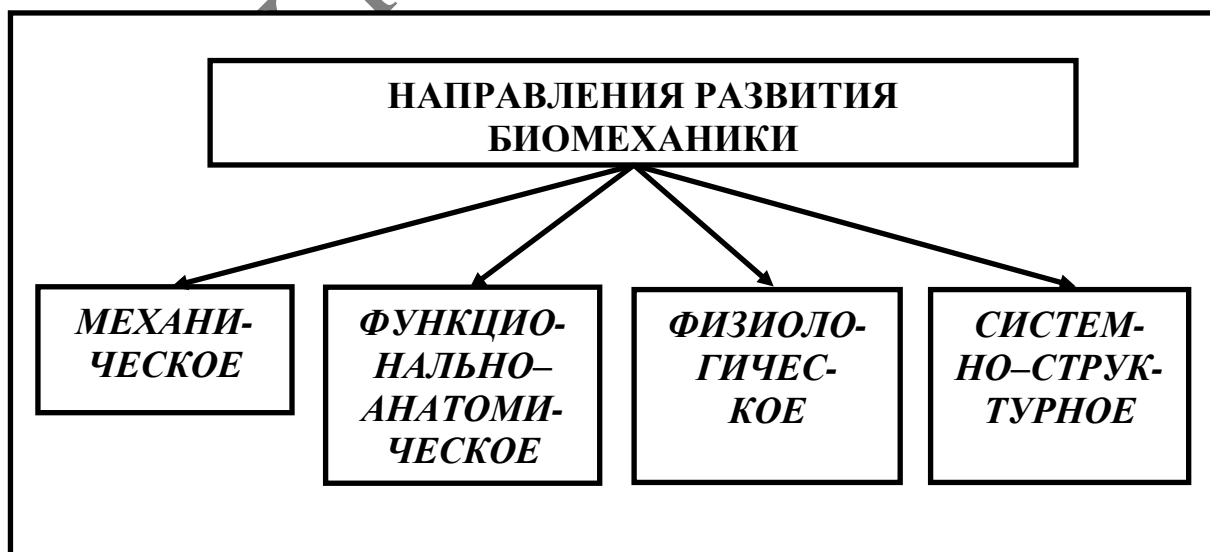


Рисунок 5 – Направления развития биомеханики

Хронологически первым было механическое направление в развитии биомеханики. Первую книгу по биомеханике «О движениях животных» (1679 г.) написал ученик Галилея итальянский врач и математик Джовани Борелли. Исследование действия и противодействия, определение центра тяжести тела человека, классификация локомоторных движений по источнику сил проводились с позиций механики. Физиологи братья Вебер (1836 г.) изучали ходьбу человека тоже с позиций механики, сравнивая движения шагания с качаниями маятников (их гипотезы в последующем во многом не подтвердились).

Изучению механических характеристик движений были посвящены исследования В. Брауне и О. Фишера. В последнее время развитие механического направления наиболее ярко представлено в пособиях по биомеханике Г. Хохмута (ГДР), А. Новака (ЧССР) и др.

Применение законов механики в биомеханике необходимо, но оно недостаточно, если речь идет только о механике неизменяемого тела. Как биомеханическая система тело человека существенно отличается от абсолютно твердого тела или материальной точки, которые рассматриваются в классической механике. Внутренние силы, которые при решении задач в механике твердого тела стараются исключить, имеют определяющее значение для движений человека. Безразличие к источнику силы в механике сменяется крайним интересом к этому вопросу в биомеханике. Наконец, углубленное изучение именно механических закономерностей движений организмов требует выявления немеханических причин особой сложности в проявлении активности биомеханических систем.

Функционально-анатомическое направление. Функционально-анатомический подход характеризуется преимущественно описательным анализом движений в суставах, определением участия мышц при сохранении положений тела и в его движениях.

Изучая форму и строение органов опоры, а также движения человека в тесной связи с их функцией, анатомы исследовали преимущественно двигательный аппарат. Аналитическое изучение тела человека преобладало в работах О. Фишера, Р. Фикка, Г. Брауса, С. Моллье и других зарубежных анатомов.

Вместе с тем расширялось изучение функций двигательного аппарата как целого. Один из основателей функциональной анатомии П. Ф. Лесгафт рассматривал все системы и органы, прежде всего во взаимодействии, как части единого целостного живого организма. Высоко оценивая возможности формообразующего влияния функций, П. Ф. Лесгафт одним из первых начал разрабатывать научные основы физического образования детей и молодежи.

Функционально-анатомическое направление развивалось учениками П. Ф. Лесгафта и продолжателями его учения А. А. Красуцкой, Е. А. Котиковой, Е. Г. Котельниковой и др. Большой вклад в учение о движениях внес М. Ф. Иваницкий, разрабатывавший раздел курса анатомии – двигательный аппарат как целое (динамическая анатомия). Во многих странах наука о движениях – кинезиология – представляет собою в настоящее время своеобразное сочетание механического и функционально-анатомического направлений.

Для анатомического направления в целом характерен описательный подход – преимущественно качественные характеристики при незначительном применении количественной меры. Мало используются электромиографические методы и измерения механических характеристик, что придает выводам во многих исследованиях в этой области несколько предположительный характер.

Физиологическое направление. Физиологическое направление в биомеханике утвердило представление о рефлекторной природе движений, кольцевом характере управления движениями и об обусловленной этим чрезвычайной сложности движений человека.

На развитие биомеханики оказали существенное влияние физиология нервно-мышечного аппарата, учение о высшей нервной деятельности и нейрофизиология. Признание рефлекторной природы двигательных действий и механизмов нервной регуляции при взаимодействии организма и среды в работах И. М. Сеченова, И. П. Павлова, Н. Е. Введенского, А. А. Ухтомского, П. К. Анохина, Н. А. Бернштейна и других ученых составляет физиологическую основу изучения движений человека. Результаты многочисленных, проведенных за последние десятилетия во многих странах мира исследований механизмов центральной нервной системы и нервно-мышечного аппарата позволяют наиболее полно представить высокую сложность управления движениями.

Исследования Н. А. Бернштейна, ставшие уже классическими, дали результаты, которые привели его в свое время к новой системе взглядов на движения и управление ими. Развивая идеи И. М. Сеченова о рефлекторной природе управления движениями путем использования чувствительных сигналов, Н. А. Бернштейн выдвинул положение о кольцевом характере процессов управления. Его гипотеза об уровне построения движений сыграла важную роль в дальнейшей разработке физиологического направления в биомеханике. Глубокое изучение действительных явлений в самом опорно-двигательном аппарате вызвало особое внимание к управлению движениями. Выявленные особенности управления движениями показали, насколько были неверны прежние упрощенные объяснения механизма движений.

Системно-структурное направление. Системно-структурный подход в биомеханике характеризуется изучением состава и структуры систем как в двигательном аппарате, так и в его функциях. Этот подход в известной мере объединяет механическое, функционально-анатомическое и физиологическое направления в развитии теории биомеханики.

По современным представлениям, опорно-двигательный аппарат рассматривается как сложная биомеханическая система; движения человека также изучаются как сложная целостная система.

Понятие о системе, в которой множество элементов (состав) закономерно объединено взаимными связями, взаимозависимостью (структура), характерно для современного научного представления о мире. Системно-структурный подход требует изучения системы как единого целого, потому что ее свойства не сводятся к свойствам отдельных элементов. Важно изучать не только состав, но и структуру системы, рассматривать во взаимосвязи строение и функцию.

Идеи о системности внес в изучение двигательной деятельности также Н. А. Бернштейн. Кибернетический, по сути дела, подход к движениям был им осуществлен более чем за 10 лет до оформления кибернетики как самостоятельной науки.

Современный системно-структурный подход не только не отрицает значения в биомеханике всех направлений, а как бы объединяет их. При этом каждое направление сохраняет в биомеханике свое значение.

2. МЕТОДИКИ РЕГИСТРАЦИИ И ИЗУЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ

Развитие биомеханики во многом зависело от разработки методик изучения движений. С ростом достижений в технике регистрации характеристик движений стал накапливаться обширный материал, послуживший основой последующих теоретических обобщений.

Механические устройства. Повышение интереса к движениям человека в связи с бурным развитием естествознания и промышленности способствовало использованию методов механики при изучении двигательной деятельности. В первую очередь начали применять простейшие устройства для определения положения центра тяжести тела человека (Д. Борелли, А. Базлер и др.).

Более широко механические приспособления стали использовать братья В. и Э. Веберы (1836 г.), изучавшие ходьбу человека. Ж. Марей (80-е гг. 19 в.) предложил пневмографическую запись давления ноги на опору при помощи воздушных камер, находящихся в ботинках, с передачей давления воздуха по резиновым трубочкам. У многих механических приборов была невысокая точность измерений, наблюдались

запаздывания. Поэтому в научных исследованиях они постепенно заменялись более совершенными – светохимическими и электротехническими. С распространением биомеханических исследований в спорте (50–60-е гг. 20 в.) стали применяться многие механические приборы (В. М. Абалаков), в частности динамографы, непосредственно связанные со спортивными снарядами.

Светохимическая регистрация. Большую роль в изучении движений сыграло открытие фотографии. Вначале успешно делали только моментальные одиночные снимки движений. Затем Э. Майбридж (1877 г.) получил последовательные автоматические снимки (всадник, скакавший на лошади вдоль ряда фотоаппаратов). Позднее стали применять многократную экспозицию на одну пластинку.

Ж. Марей и Ж. Демени разработали метод хронофотографии: вращающийся с постоянной скоростью перед объективом аппарата затвор-обтюратор (непрозрачный диск с равномерно расположенными прорезями позволял запечатлеть на неподвижной пластинке ряд последовательных поз через равные промежутки времени).

Метод хромофотографии развивался в двух направлениях. Первое преследовало цели более точного измерения движений. Марей сначала снимал на фоне черного бархата движущегося человека в черном бархатном костюме, на котором были нашиты блестящие полосы, обозначавшие оси и точки частей тела. Позднее в школе Марей заменили полосы светящимися точечными лампочками накаливания, расположенными соответственно осям суставов.

В подобном же направлении работали В. Брауне и О. Фишер, только вместо блестящих полос и точечных лампочек они применяли газосветные лампы (гейслеровы трубки). Все эти усовершенствования позволяли повышать точность измерения движений. В дальнейшем хронофотография была значительно усовершенствована Н. А. Бернштейном, разработавшим метод **циклограмметрии**. При помощи обтюратора на пластинке получают точечные траектории лампочек – циклограмму. По координатам точек на циклограмме вычисляют их перемещения, скорости и ускорения, а по массам и ускорениям звеньев рассчитывают приложенные силы. Одновременная съемка несколькими аппаратами (предложенная еще В. Брауне и О. Фишером), точечные лампочки, высокая частота съемки (100 и более снимков в 1 сек.), рациональная обработка ее материалов позволили Н. А. Бернштейну накопить обширнейший по тем временам материал (свыше 700 опытов цикло съемки ходьбы).

Еще В. Брауне и О. Фишер изучали массы и моменты инерции частей тела человека, кинематику его сочленений, условия работы мышц. Они использовали пространственные координаты, полученные при съемке,

для решения уравнений движений человека. Но низкая частота съемки (несмотря на огромную точность измерения координат) и недостаточность математических методов не позволили тогда решить эту задачу.

Н. А. Бернштейн, значительно упростив подход к определению усилий (пренебрегая точным определением моментов инерции), впервые получил важные данные о чрезвычайной расчлененности, дробности характеристик движений и их сложнейшей взаимосвязи. С этих исследований, по сути дела, и началась разработка теории биомеханики.

Второе направление развития хронографии преследовало цели воспроизведения движений на экране. Оно привело к возникновению кинематографии, предшественницы современного кино. Марей сначала применял «фоторужье», в котором быстро сменялись одна за другой 12 пластинок. Более удобным оказалось использование негативной бумажной, а потом и целлулоидной ленты с применением обтюратора: в моменты, когда объектив закрыт сплошной частью диска обтюратора, лента продвигается на один кадр. Киносъемка с большой частотой (рапидная съемка) посредством проекции на экран с нормальной частотой давала замедленное изображение («лупа времени»). Как и нормальная съемка, рапидная позволяла только рассмотреть, но не измерить движение.

Своего рода шагом назад в методике было постепенное распространение *киноциклографии*. Используя точки, отмеченные на теле испытуемого, по киноплёнке изготовляли промер – проекцию на один лист бумаги положений точек с ряда последовательных кадров. При киносъемке в условиях соревнований опознавательные точки наносились приблизительно, позднее, уже на промер. Естественно, точность определения координат по сравнению с циклографией резко снизилась. Однако возможность снимать в условиях соревнований и обходиться без сложного оснащения испытуемого, простота съемочной аппаратуры давали большие преимущества по сравнению с циклографией. С помощью метода киноциклографии в течение 2–3 десятилетий была изучена в основном техника почти всех видов спорта.

Дальнейшее повышение частоты съемки (рапидная и *ультрарапидная киносъемка* – сотни кадров в 1 сек.) при низкой точности определения координат точек позволяло получать очень ценный материал для наблюдений при относительно замедленной проекции, но не для измерений. Своеобразным вариантом хронофотографии явилась *стробомфотография*: при съемке на одну пластинку (или пленку) многократная экспозиция достигается перерывом лучей на пути не от объектива к фотоаппарату, а от источника света (осветителя) к объекту съемки. Этот метод, очень эффективный при съемке быстротекущих

процессов в технике, пока еще не принес существенной пользы в изучении движений.

В целом метод светохимической регистрации, даже такой нестрогий, как киноциклография, еще долго может быть ведущим в широкой практике. В научных исследованиях он свою положительную роль сыграл, позволив собрать данные для ряда теоретических обобщений. Однако современный уровень развития науки и техники выдвигает ряд более точных методов, основанных на использовании электротехники.

Электротехническая аппаратура. Возможности современной электротехники (в широком смысле слова, включая электронику) очень велики, однако для нужд биомеханики они используются еще относительно мало.

Первым на этом пути в изучении движений было **тензометрирование**, широко применяемое и в настоящее время. Тензодатчики ставят на различные устройства и спортивные снаряды и по их деформациям измеряют приложенные усилия (динамографические платформы для регистрации усилий отталкивания в ходьбе, беге, прыжке, динамографические весла, лыжи, коньки, гимнастические снаряды, штанга и т. п.). В результате подачи сигналов с двух тензосистем на луч осциллоскопа на экране возникает изображение усилия, по которому можно определить вектор силы (**вектординамография**).

Далее стала применяться **электрогониография** – измерение и запись суставных углов посредством гониометра, прикрепленного к сочлененным звеньям, а также **акселерография** – измерение ускорений при помощи датчика ускорений, прикрепляемого в ускоряемой точке. Во всех этих методах механические характеристики посредством преобразования их в электрические сигналы регистрируются в течение выполнения движений с одновременной электрической отметкой времени.

В качестве метода исследования движений стала применяться **электромиография**, позволяющая приближенно судить о начале, интенсивности и окончании электрической активности мышц. Применение этого метода при изучении разных спортивных упражнений (бег, плавание, метания, гимнастика и т. п.) дает возможность изучать совместное действие мышц в сложных условиях.

Считаются перспективными сложные **стереофотозлектронные** методы регистрации координат точек с автоматической обработкой данных и мгновенным определением координат, скоростей и ускорений точек. Многоканальная запись различных характеристик обеспечивает полную их синхронизацию (точное взаимное соответствие во времени). Расчетные методы получения ряда характеристик (усилий, ускорений) заменяются их непосредственной регистрацией.

Автоматические устройства, подсоединяемые к регистрирующим приборам, позволяют с высокой точностью вычислять производные характеристики, а также определять количественную меру их взаимозависимостей. При совмещении в кинокадре движущегося спортсмена и экранов осциллографов обеспечивается синхронная регистрация картины движения и самых различных характеристик и показателей. Применение ЭВМ открывает возможности не только тщательной математической обработки данных регистрации, но и математического моделирования в качестве метода изучения движений.

В применении электротехнической аппаратуры не преодолены еще многие трудности, но возможности ее использования очень велики.

Методики исследования. Биомеханическое исследование требует совместного изучения механических и биологических сторон движений с возможно более точной количественной мерой и вскрытием взаимосвязей в системах движений (их структур).

Методики биомеханического исследования имеют в соответствии с системностью движений комплексный характер. Изучение движений проводится с синхронной регистрацией ряда существенных характеристик при высокой точности и скорости измерений. В методиках биомеханического исследования используются отдельные методы регистрации из смежных научных дисциплин, а также достижения современной техники. Они позволяют полнее отразить специфику движений человека в ее современном теоретическом понимании.

Области двигательной деятельности человека, где используются методы современной биомеханики, обширны. В первую очередь они используются там, где оценка эффективности движений наиболее важна, например, в биомеханике спорта.

Биомеханика приобретает все большее значение в изучении взаимодействия человека и машины – в проблемах инженерной психологии, учитывающей специфику двигательной деятельности человека. В разработке проблемы человек – машина важную роль играет биомеханика труда, которая часто смыкается с физиологией труда (устройство рабочего места, оценка рабочих операций и т. п.).

Деятельность человека в условиях космоса (в невесомости, особенно вне космического корабля) нуждается в биомеханическом обосновании и контроле над овладением навыками в необычных условиях.

Биомеханика нередко играет ведущую роль при восстановлении утраченной трудоспособности, особенно в протезировании инвалидов, обеспечивая более точное решение поставленных задач (оценка функциональных возможностей, создание замещающих конструкций, контроль над овладением движениями).

В меньшей степени используется биомеханика в искусстве, где выразительность движений допускает большую их вариативность и не требует строгой количественной точности. Везде задача сводится к раскрытию и лучшему применению двигательных возможностей человека.

3. БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ

Для изучения движения существует ряд аппаратных и безаппаратных методик. В *простом БМ* анализе (рисунок 6) выделяют ряд этапов:

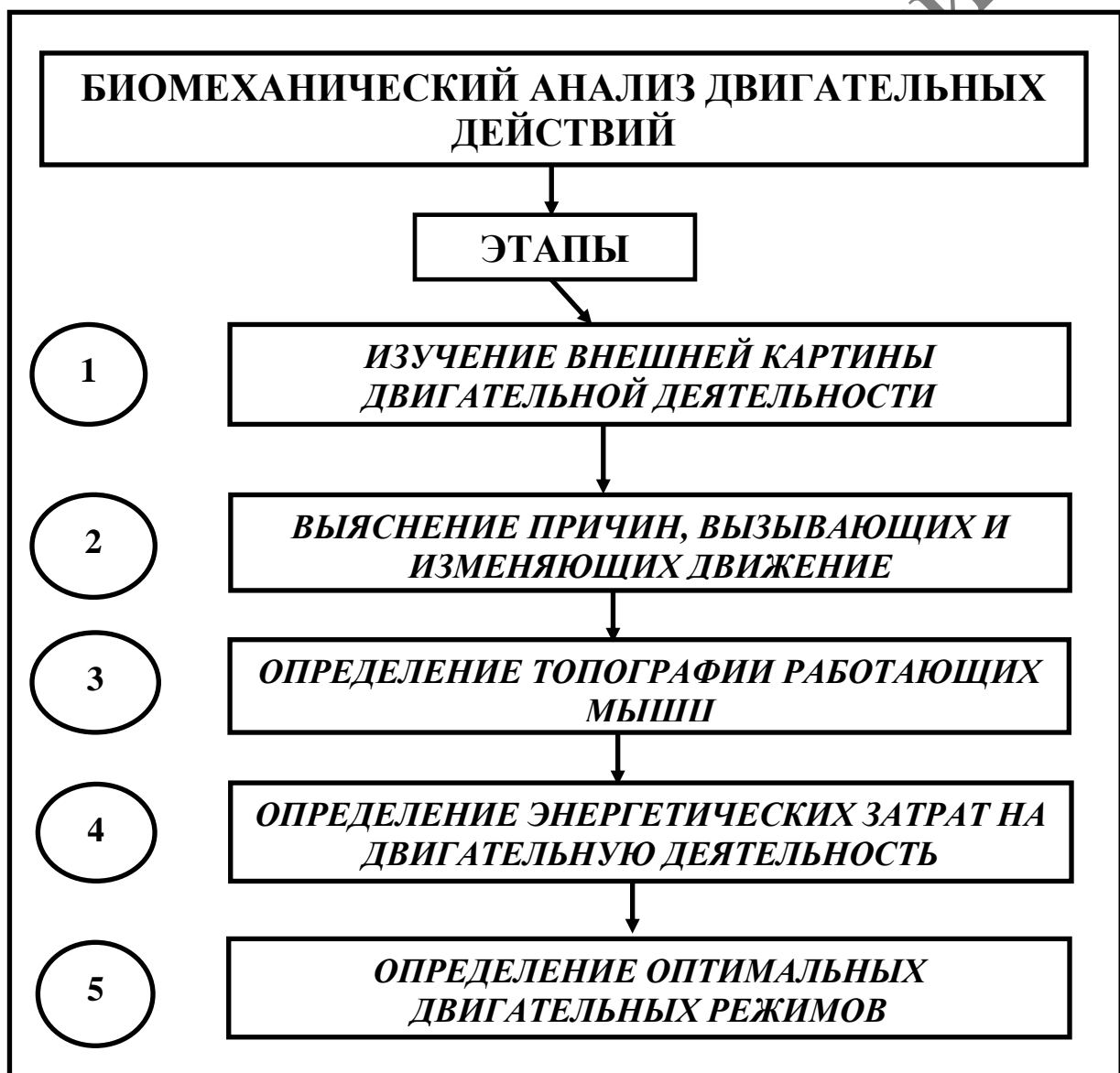


Рисунок 6 – Структура простого биомеханического анализа

1. Изучение внешней картины двигательной деятельности.

Прежде всего, выясняют, из каких двигательных действий она состоит, и в каком порядке действия следуют друг за другом. Например, школьный урок физической культуры состоит из ряда упражнений. Нужно учитывать, что характер, продолжительность и интенсивность предшествующих упражнений оказывают влияние на качество выполнения последующих. Изучая внешнюю картину двигательной деятельности, регистрируют кинематические характеристики.

Особенно важно знать продолжительность отдельных частей движения (фаз), графическим отображением чего является хронограмма. *Хронограмма* двигательного действия характеризует технику, а хронограмма двигательной деятельности – первое, на что обращают внимание при анализе спортивной тактики.

2. Выяснение причин, вызывающих и изменяющих движения. Они не доступны визуальному контролю, и для их анализа необходимо регистрировать динамические характеристики. Важнейшее значение здесь имеют величины сил, действующих на человека извне и создаваемых его собственными мышцами.

3. Определение топографии работающих мышц. На этом этапе выявляется, какие мышцы и как участвуют в выполнении данного упражнения. Зная, какие мышцы преимущественно обеспечивают двигательную деятельность, к которой готовит себя человек, можно из множества физических упражнений отобрать способствующие развитию именно этих мышц и их координации.

В зависимости от того, какая часть всей мышечной массы тела задействована, различают глобальную мышечную работу (более 2/3), регионарную (от 1/3 до 2/3) и локальную (менее 1/3). Так, бегуны, пловцы, лыжники выполняют глобальную мышечную работу. К регионарной относится, например, мышечная работа, выполняемая при некоторых общеразвивающих гимнастических упражнениях (подтягивании на перекладине, поднимании ног и верхней части туловища из положения лежа на спине и т. п.).

Представление о том, какие мышцы задействованы в каждом упражнении, можно получить, регистрируя их электрическую активность. Чем интенсивнее работает мышца, тем выше ее электроактивность и больше амплитуда электромиограммы.

Хорошо известно, что разные движения отличаются одно от другого по кинематике (внешней картине) и динамике (характеру силовых взаимодействий). Точно так же и электромиографический портрет движений неодинаков в разных упражнениях. Но, даже сложные движения, если они достаточно автоматизированы (например, ходьба и другие локомоции, обычные бытовые, профессиональные и спортивные движения), имеют более

или менее постоянный рисунок возбуждения мышц не только при повторении движения одним человеком, но и у разных людей.

4. Определение энергетических затрат и того, насколько целесообразно расходуется энергия работающих мышц. Для этого регистрируют энергетические характеристики. Наряду с величинами энергозатрат важна экономичность, которая тем выше, чем больше доля полезных энергозатрат по отношению ко всей затраченной энергии. Например, у стайеров высшей квалификации повышение экономичности бега на 20% перемещает бегуна в списке лучших с 10-го на 1-е место.

5. Выявление оптимальных двигательных режимов (наилучшей техники двигательных действий и наилучшей тактики двигательной деятельности) осуществляется на заключительном этапе биомеханического анализа. Здесь же оценивается степень соответствия реально имеющих место и оптимальных вариантов техники и тактики (рисунок 7).

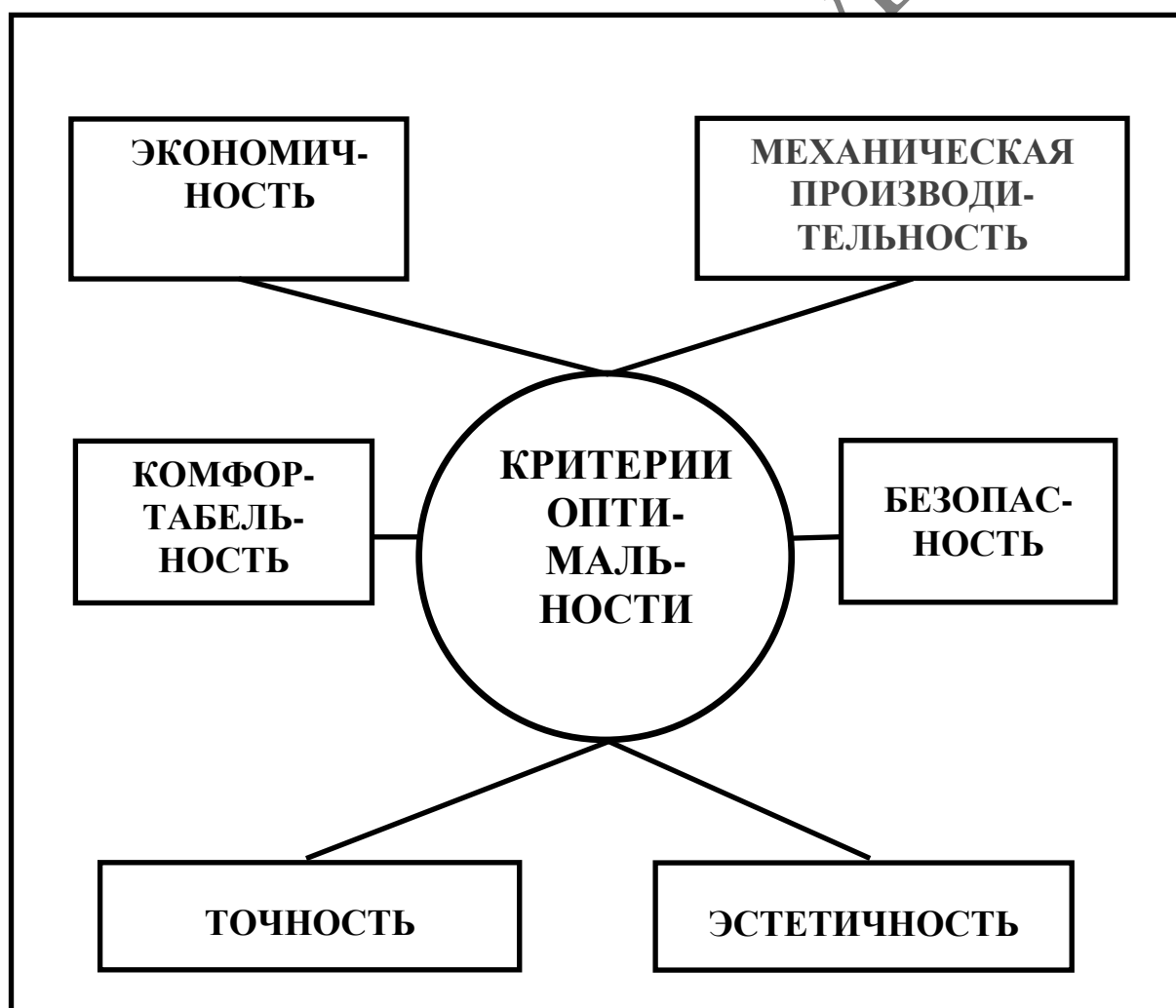


Рисунок 7 – Критерии оптимальности

Оптимальным (от лат. *optimus* – наилучший) называется наилучший вариант из всех возможных. В спорте (а в последнее время и в оздоровительной физкультуре) постоянно идет поиск оптимальных вариантов техники и тактики и определение степени соответствия реально наблюдаемого двигательного режима оптимальному. Тем самым решается задача оптимизации двигательной деятельности или ее рационализации (если не удастся достичь идеала, но можно к нему приблизиться).

Оптимизацией называют выбор наилучшего варианта из числа возможных. Но что такое наилучший вариант двигательной деятельности? Общего ответа на этот вопрос не существует, поскольку все зависит от конкретной ситуации и поставленной цели. Так, человек, спасающийся от преследователей, не думает о красоте и экономичности. Главное – бежать быстро. Другое дело, гимнастка, выполняющая вольные упражнения. Она стремится двигаться как можно красивее, в соответствии с эстетическими канонами своего вида спорта. В этих ситуациях различны цели людей. И потому неодинаковы *критерии оптимальности, т. е. показатели, используемые для оценки степени достижения поставленной цели.*

Экономичность двигательной деятельности обратно пропорциональна энергии, затрачиваемой на единицу выполняемой работы или метр пройденного пути. Это важнейший критерий оптимальности, и мы еще не раз к нему вернемся.

Механическая производительность тем выше, чем больший объем работы выполняется за определенное время или чем быстрее выполняется данный объем работы. Например, в циклических видах спорта механическая производительность оценивается временем преодоления соревновательной дистанции, а в массовой физической культуре – расстоянием, которое человек может пройти, пробежать или проплыть за 12 мин.

Точность двигательных действий имеет две разновидности: целевая точность и точность воспроизведения заданной внешней картины движений (например, при выполнении “школы” в фигурном катании). Целевая точность оценивается отклонением точки попадания от центра мишени (например, в стрельбе) или отношением числа успешно выполненных двигательных действий к их общему числу (ударов в боксе и спортивных играх, бросков в борьбе, передач и приемов мяча и т. п.).

Эстетичность оценивается близостью кинематики (т. е. внешней картины движения) к эстетическому идеалу – общепринятому или принятому в данном виде спорта (фигурном катании, художественной гимнастике, синхронном плавании и т. п.).

Комфортабельными считаются плавные движения. Чем больше сотрясается тело при ходьбе, беге и т. п., тем ниже комфортабельность.

Безопасность тем выше, чем меньше вероятность травмы.

Трудоемкость биомеханического анализа и польза от него зависят от того, насколько педагог стремится разобраться в технике и тактике своих учеников. Различают системно-структурный и функциональный подходы к анализу двигательной деятельности.

Функциональный подход позволяет констатировать те или иные несовершенства техники и тактики. Например, на уроке физкультуры можно увидеть, что техника подтягивания у многих отличается от эталонной, рекомендованной в гимнастике. Но как ее исправить? Функциональный подход не дает ответа на этот вопрос. Он направлен на овладение процессом управления без полного раскрытия его внутренней природы. Понятно, что такой путь ненадежен. Не имея ясных рекомендаций для устранения недочетов в технике и тактике, преподаватель вынужден действовать наугад.

Системно-структурный подход дает более конкретные рекомендации. Педагог, применяющий его при обучении, стремится к познанию состава и структуры двигательной деятельности. Кроме того, выясняют внутренние механизмы, т. е. стремятся ответить на вопрос, почему двигательные действия выполнены именно так, а не иначе. Наиболее широко распространенным приемом системно-структурного подхода является выполняемое по определенным правилам разделение двигательного действия на части (“фазы”).

Функциональный и системно-структурный подходы к анализу и совершенствованию двигательной деятельности дополняют друг друга. Применяя системно-структурный подход, педагог ведет анализ от сложного к простому. Элементы двигательной деятельности, находящиеся на нижней ступени иерархической лестницы, остаются нераскрытыми, недетализированными и рассматриваются уже с позиций функционального подхода. Уровень, на котором системно-структурный подход переходит в функциональный, зависит от решаемых задач.

Например, при тактической подготовке двигательные действия (технические элементы) считаются “неделимыми кирпичиками”, из которых складывается двигательная деятельность. А при технической подготовке детально изучается взаимодействие мышц, костей, суставно-связочного аппарата. Но по отношению к отдельным элементам двигательного аппарата применяется функциональный подход: их строение и функционирование обычно не рассматриваются.

В современной биомеханике гармонично переплетаются идеи и методы оптимизации двигательной деятельности, функционального и системно-структурного подходов, автоматизированного контроля за технико-тактическим мастерством, моделирования техники и тактики на электронно-вычислительных машинах. Но главным остается мысль и труд исследователя, постигающего закономерности движений, и педагога, который использует эти достижения в учебном и тренировочном процессах.

ТЕМА 1.3 БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

- 1. БИОКИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРЫ И ЦЕПИ, ИХ ВИДЫ**
- 2. СТЕПЕНИ СВОБОДЫ И СВЯЗИ ДВИЖЕНИЙ**
- 3. ЗВЕНЬЯ ТЕЛА КАК РЫЧАГИ И МАЯТНИКИ**
- 4. БИОДИНАМИКА МЫШЦ**
- 5. СВОЙСТВА БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**
- 6. ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЙ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

1. БИОКИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРЫ И ЦЕПИ, ИХ ВИДЫ

Чрезвычайная сложность строения и многообразие свойств тела человека, с одной стороны, делают очень сложными сами движения и управление ими. Но, с другой стороны, они обуславливают необычайное богатство, разнообразие движений, до сих пор недоступное в целом ни одной самой совершенной машине.

Движения человека в значительной мере зависят от того, каково строение его тела и каковы его свойства. Биомеханика изучает в теле человека, в его опорно-двигательном аппарате, преимущественно те особенности строения и функций, которые имеют значение для совершенства движений.

Биомеханическая система – обладает основными свойствами, существенными для выполнения двигательной функции, но не включает в себя множество частных деталей. Это упрощенная копия, модель тела человека, на которой можно изучать закономерности движений. Биомеханическая система тела человека состоит из биомеханических цепей. К ним приложены силы (нагрузки), которые вызывают деформации звеньев тела и изменение их движений.

В живых механизмах способы соединения частей тела в биокинематические цепи не полностью определяют возможности движений, например направление и размах. Участие мышц в управлении движениями делает соединения звеньев способными на множество вариантов движений. Мышцы определяют движения костных рычагов, передающих движение и усилия, и маятников, сохраняющих начавшееся движение.

Соединенные два соседних звена тела образуют пару, а пары, в свою очередь, соединены в цепи (рисунок 8).

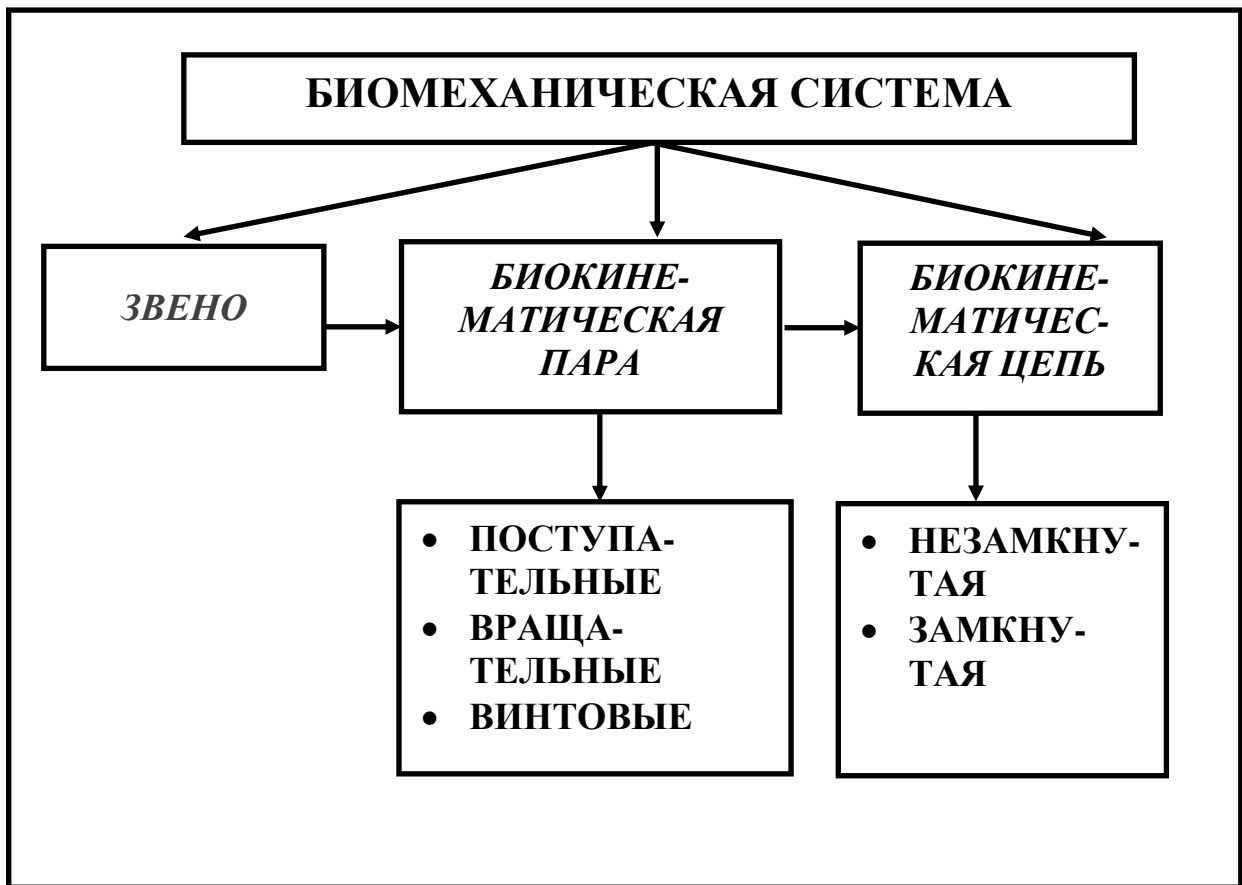


Рисунок 8 – Структура биомеханической системы

Биокинематическая пара – это подвижное (кинематическое) соединение двух костных звеньев, в котором возможности движений определяются его строением и управляющим воздействием мышц.

В технических механизмах соединения двух звеньев – кинематические пары – устроены обычно так, что возможны лишь вполне определенные, заранее заданные движения. Одни возможности не ограничены (их характеризуют степени свободы движения), другие полностью ограничены (их характеризуют степени связи).

Различают связи: а) геометрические (постоянные препятствия перемещению в каком-либо направлении, например костное ограничение в суставе) и б) кинематические (ограничение скорости, например мышцей-антагонистом).

В биокинематических парах имеются постоянные степени связи, которые определяют собой сколько как максимум и каких остается степеней свободы движения. Почти все биокинематические пары в основном вращательные (шарнирные); немногие допускают чисто поступательное скольжение звеньев относительно друг друга и лишь одна пара (голеностопный сустав) – винтовое движение.

Биокинематическая цепь – это последовательное либо незамкнутое (разветвленное), либо замкнутое соединение ряда биокинематических пар.

В **незамкнутых цепях** имеется свободное (конечное) звено, входящее лишь в одну пару. В замкнутых цепях нет свободного конечного звена, каждое звено входит в две пары. В незамкнутой цепи, следовательно, возможны изолированные движения в каждом отдельно взятом суставе. В двигательных действиях движения в незамкнутых цепях происходят обычно одновременно во многих суставах, но возможность изолированного движения не исключена.

В **замкнутой цепи** изолированные движения в одном суставе невозможны: в движение неизбежно одновременно вовлекаются и другие соединения.

Значительная часть незамкнутых биокинематических цепей оснащена многосуставными мышцами. Поэтому движения в одних суставах через такие мышцы бывают связаны с движениями в соседних суставах. Однако при точном управлении движениями во многих случаях эту взаимную связь можно преодолеть, «выключить». В замкнутых же цепях связь непреодолима и действия мышц обязательно передаются на отдаленные суставы.

Незамкнутая цепь может стать замкнутой, если конечное свободное звено получит связь (опора, захват) с другим звеном цепи (непосредственно или через какое-либо тело).

2. СТЕПЕНИ СВОБОДЫ И СВЯЗИ ДВИЖЕНИЙ

Если у физического тела нет никаких ограничений (связей), оно может двигаться в пространстве во всех трех измерениях, т. е. относительно трех взаимно перпендикулярных осей (поступательно), а также вокруг них (вращательно). Следовательно, у такого тела шесть степеней свободы движения.

Каждая связь уменьшает число степеней свободы. Зафиксировав одну точку свободного тела, сделав его звеном пары, сразу лишают его трех степеней свободы – возможных линейных перемещений вдоль трех основных осей координат. Примером может служить шаровидный сустав – тазобедренный, в котором три степени свободы из шести (возможно вращение относительно трех осей). Закрепление двух точек звена говорит о наличии оси, проходящей через эти точки. В таком случае остается одна степень свободы. Пример подобного ограничения – одноосный сустав, например межфаланговый. Закрепление третьей точки, не лежащей на этой оси, полностью лишает звено свободы движений. Такое соединение к суставам не относится (рисунок 9).

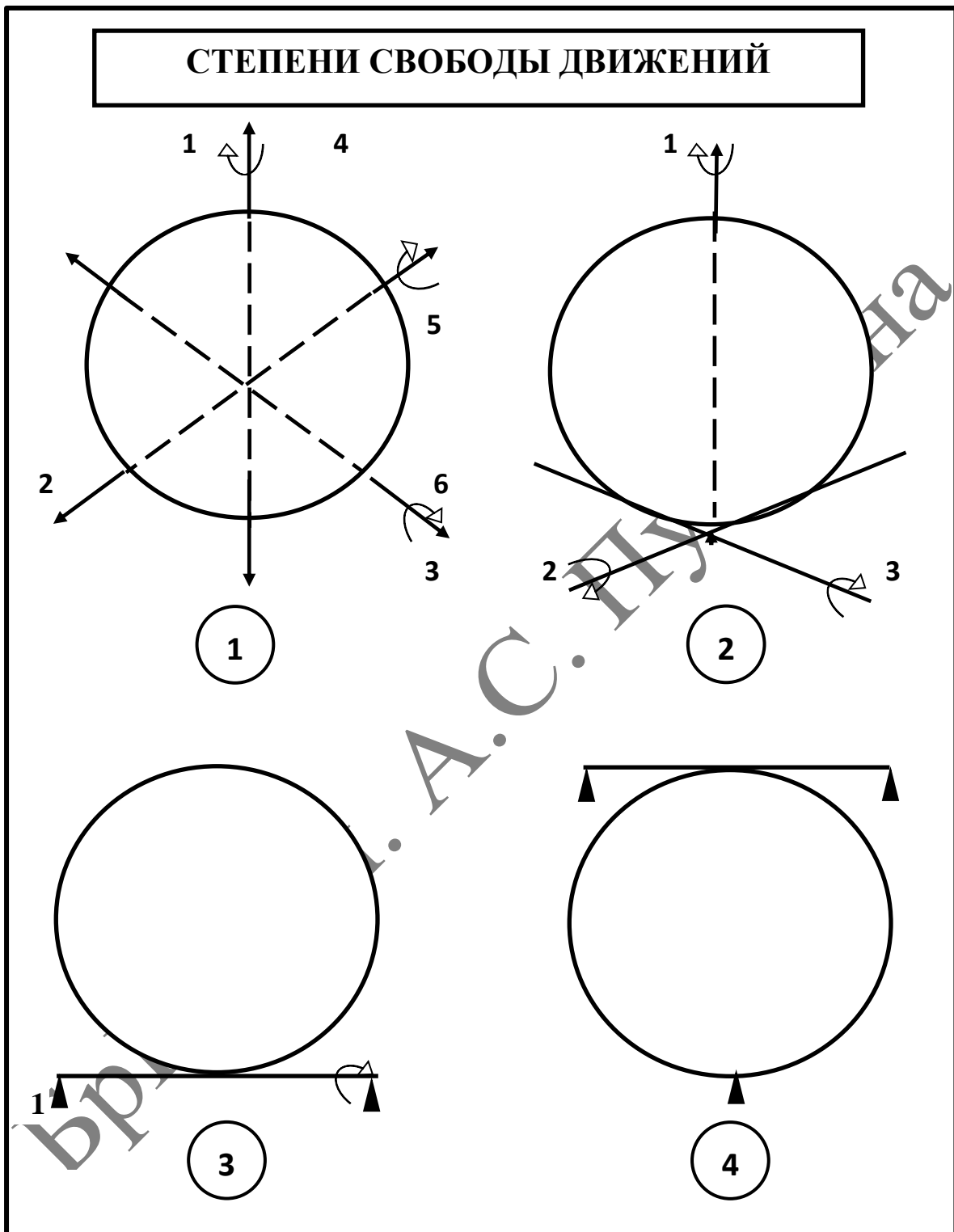


Рисунок 9 – Степени свободы движений

В анатомии выделяют также двуосные суставы; они имеют вторую степень свободы вследствие неконгруэнтности (неполного соответствия по форме) суставных поверхностей (суставы лучезапястный и пястнофаланговый 1-го пальца).

Почти во всех суставах (кроме межфаланговых, лучелоктевых и атлантоосевого) степеней свободы больше, чем одна. Поэтому устройство пассивного аппарата в них обуславливает неопределенность движений, множество возможностей движений («неполносвязный механизм»). Управляющие воздействия мышц вызывают дополнительные связи и оставляют для движения только одну степень свободы («полносвязный механизм»). Так обеспечивается одна-единственная возможность движений – именно та, которая требуется.

Каждая биомеханическая пара многоосного сустава включает в себе возможности многих механизмов. Из множества возможностей при помощи управляющих воздействий мышц выделяют заданное управляемое движение. Биокинематические соединения богаче возможностями, чем кинематические соединения в технических механизмах, но управление ими сложнее.

Следовательно, множество степеней свободы кинематической пары в многоосных суставах требует для выполнения каждого определенного движения: а) выбора необходимой траектории, б) управления движением по траектории (направлением и величиной скорости) и в) регуляции движения, понимаемой как борьба с помехами, сбивающими с траектории.

3. ЗВЕНЬЯ ТЕЛА КАК РЫЧАГИ И МАЯТНИКИ

Кости как твердые звенья, соединяясь подвижно, образуют основу биокинематических цепей. Приложенные силы действуют на звенья как на рычаги или маятники. Во многих случаях звенья сохраняют движение под действием приложенных сил как маятники.

Костные рычаги – звенья тела, подвижно соединенные в суставах под действием приложенных сил, – могут сохранять свое положение, либо изменять его. Они служат для передачи движения и работы на расстояние.

Все силы, приложенные к звену как рычагу, можно объединить в **две группы**: а) силы или их составляющие, лежащие в плоскости оси рычага (они не могут повлиять на движение вокруг этой оси) и б) силы или их составляющие, лежащие в плоскости, перпендикулярной к оси рычага (они могут влиять на движение вокруг оси в двух противоположных направлениях). Рассматривая действие сил на рычаг, учитывают только силы, направленные по ходу движения (движущие) и против него (тормозящие).

Когда группы сил приложены по обе стороны от оси (точки опоры) рычага, его называют двулучим или рычагом первого рода, а когда по одну сторону – однолучим, или рычагом второго рода. Для разных мышц, прикрепленных в разных местах костного звена, рычаг может быть разного рода. Так, относительно своих сгибателей предплечье (при работе против веса груза) представляет собой однолучий рычаг; относительно же мышц-разгибателей (при удержании груза над головой) – двулучий рычаг.

При преодолевающих движениях сила сокращающихся мышц (их равнодействующая тяга) – движущая сила, при уступающих движениях сила растягиваемых мышц (их равнодействующая тяга) – тормозящая. Силы сопротивления направлены противоположно действию мышц.

Каждый рычаг имеет следующие элементы а) точку опоры, б) точки приложения сил, в) плечи рычага (расстояния от точки опоры до точек приложения сил) и г) плечи сил (расстояния от точки опоры до линий действия сил – опущенные на них перпендикуляры) (рисунок 10).

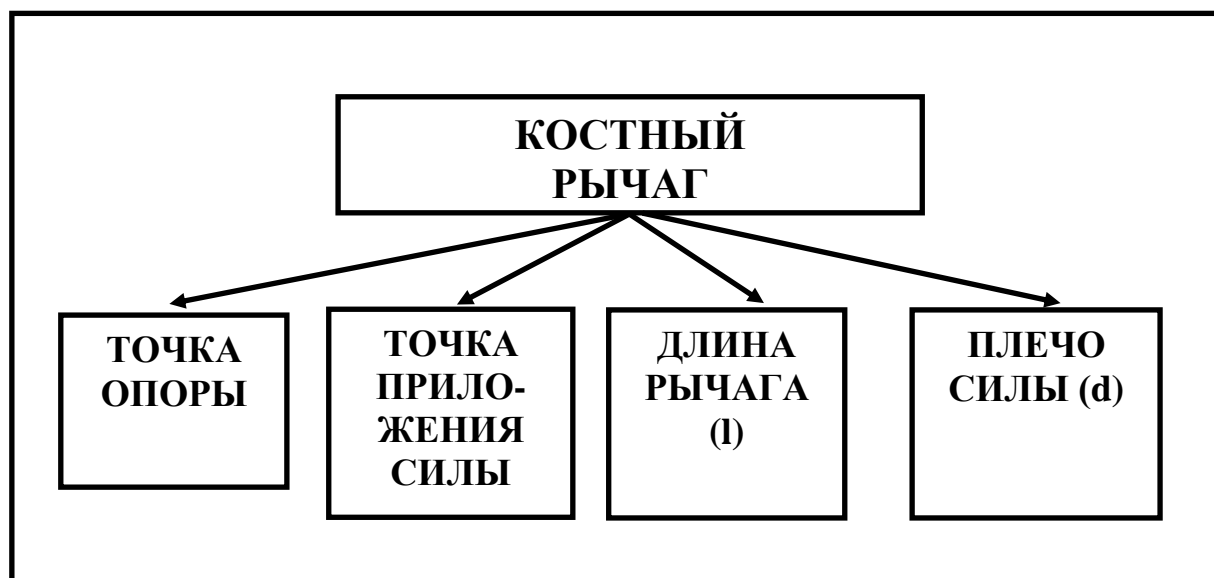


Рисунок 10 – Строение костного рычага

Мерой действия силы на рычаг служит ее момент относительно точки опоры (произведение силы на ее плечо).

Условия равновесия и ускорения костных рычагов. Сохранение положения и движения звена как рычага зависит от соотношения противоположно действующих моментов сил.

Когда противоположные относительно оси сустава моменты сил равны, звено либо сохраняет свое положение, либо продолжает движение с прежней скоростью (моменты сил уравновешены). Если же один из

моментов сил больше другого, звено получает ускорение в направлении его действия (рисунок 11).

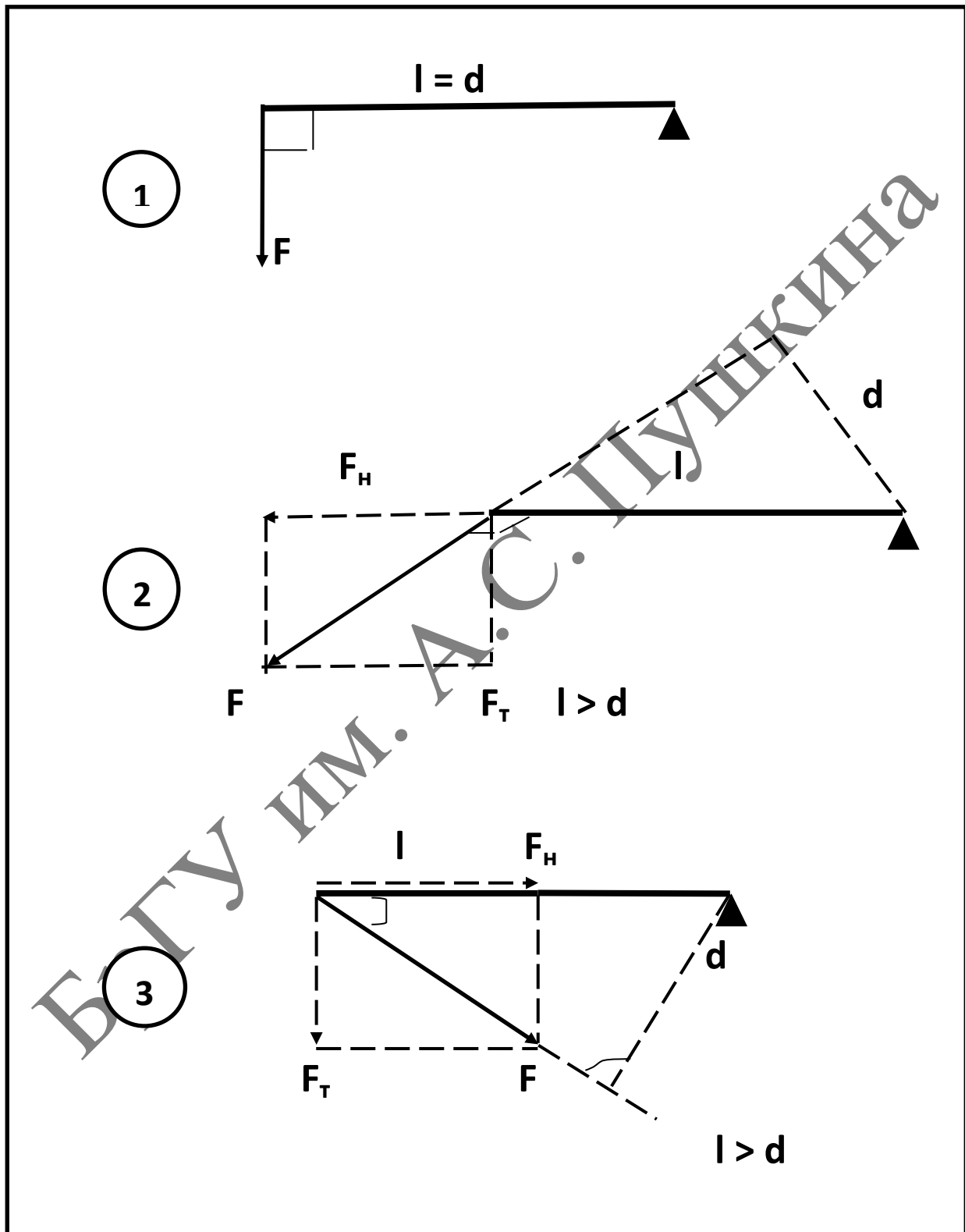


Рисунок 11 – Действие сил на костный рычаг

Момент движущих сил, преобладая над моментом тормозящих сил, придает звену положительное ускорение (в сторону движения). Момент тормозящих сил, если он преобладает, придает звену отрицательное ускорение, вызывает торможение звена.

В реальных движениях моменты этих двух групп сил редко бывают равны, и поэтому движения обычно либо ускоренные (положительное ускорение, разгон звена), либо замедленные (отрицательное ускорение, торможение звена).

Для сохранения положения звена в суставе, естественно, необходимо равенство моментов сил.

При всех движениях угол между направлением равнодействующей группы сил и звеном изменяется. Плечо рычага – расстояние от точки опоры рычага до места приложения силы – остается неизменным. Но плечо силы изменяется. Изменяется обычно и сама сила мышечной тяги. Следовательно, момент силы тяги мышц не остается постоянным. Все это создает большие трудности для управления движениями, но вместе с тем обуславливает и широкие возможности изменения движения.

Когда сила приложена к рычагу под углом, отличающимся от прямого, ее можно разложить на *тангенциальную* составляющую (касательную к траектории точек рычага) и *нормальную* (перпендикулярную к направлению движения).

Тангенциальная составляющая влияет на скорость движения рычага, поэтому ее называют вращающей (или явной). Нормальная составляющая (направленная вдоль рычага) с точки зрения механики никакого эффекта на звено прямо не производит. Однако она прижимает суставные поверхности костей друг к другу и этим укрепляет сустав; отсюда ее название – укрепляющая (или скрытая).

Звенья тела действуют в биокинематической цепи чаще всего как составные рычаги, в которых очень сложные условия передачи движения и работы. В простом рычаге работа силы, приложенной в одной его точке, передается на другие точки полностью.

Если плечи сил неравны, то прилагаемая сила передается либо с потерей в силе (но с выигрышем в пути, а следовательно и в скорости), либо, наоборот, с выигрышем в силе, но с потерей в скорости. В одноплечих рычагах направление передаваемой силы изменяется, а в двухплечих – не изменяется.

Сила тяги мышц обычно приложена на более коротком плече рычага, и поэтому плечо ее силы относительно невелико. Это связано с тем, что в большей части случаев мышцы прикрепляются вблизи суставов. Когда мышца расположена вдоль звена и прикрепляется вдалеке от сустава, угол тяги ее очень мал и поэтому плечо силы также очень мало. В связи с этим

силы тяги мышц, действующие на костные рычаги, почти всегда дают выигрыш в скорости (естественно, с проигрышем в силе).

Различают две основные причины проигрыша в силе: прикрепление мышцы вблизи сустава и тяга мышцы вдоль кости под острым или тупым углом. Можно указать еще и на третью причину некоторых потерь в силе мышц. При больших нагрузках напрягаются все мышцы, окружающие сустав. Мышцы-антагонисты, создавая моменты сил, которые направлены противоположно друг другу, полезной работы не производят, а энергию на напряжение затрачивают. Но, в конечном счете в этом есть определенный смысл, хотя и происходят потери энергии: сустав во время больших нагрузок укрепляется благодаря напряжению мышц, которые его окружают.

Биокинематические маятники. Звено тела, продолжающее после разгона движение по инерции, имеет сходство с физическим маятником. Маятник в поле силы тяжести, выведенный из равновесия, сначала под действием момента силы тяжести качается вниз, а далее, затрачивая приобретенную кинетическую энергию, поднимается по инерции вверх.

Период качаний определяет собственную частоту качаний маятника, и, как видно из формулы, как будто независимо от их амплитуды. Однако это не совсем так; данная формула действительна только для малых колебаний (не более $5-7^\circ$, когда примерно равен углу отклонения).

При более значительных отклонениях (например, качаниях ног в ходьбе, беге) частота качаний зависит от их амплитуды. Более того, длина «маятника» при сгибании и разгибании ноги изменяется, поэтому нога как маятник постоянной собственной частоты не имеет.

Составные маятники (несколько подвешенных друг к другу маятников) ведут себя намного сложнее. Именно поэтому в каждом шаге моменты мышечных сил нужно приспосабливать к переменным механическим условиям, чтобы обеспечивать относительное постоянство шагов.

4. БИОДИНАМИКА МЫШЦ

Механические свойства мышц. Основная функция мышц состоит в преобразовании химической энергии в механическую работу или силу. Главными биомеханическими показателями, характеризующими деятельность мышцы, являются: а) сила, регистрируемая на ее конце (эту силу называют натяжением или силой тяги мышцы), и б) скорость изменения длины.

При возбуждении мышцы изменяется ее механическое состояние; эти изменения называют сокращением. Оно проявляется в изменении

натяжения и (или) длины мышцы, а также других ее механических свойств (упругости, твердости и др.).

Механические свойства мышц сложны и зависят от механических свойств элементов, образующих мышцу (мышечные волокна, соединительные образования и т. п.), и состояния мышцы (возбуждения, утомления и пр.) (рисунок 12).

Понять многие из механических свойств мышцы помогает упрощенная модель ее строения – в виде комбинации упругих и сократительных компонентов. Упругие компоненты по механическим свойствам аналогичны пружинам: чтобы их растянуть, нужно приложить силу. Работа силы равна энергии упругой деформации, которая может в следующей фазе движения перейти в механическую работу. Различают:

а) параллельные упругие компоненты – соединительнотканые образования, составляющие оболочку мышечных волокон и их пучков, и

б) последовательные упругие компоненты – сухожилия мышцы, места перехода миофибрилл в соединительную ткань, а также отдельные участки саркомеров, точная локализация которых в настоящее время неизвестна.

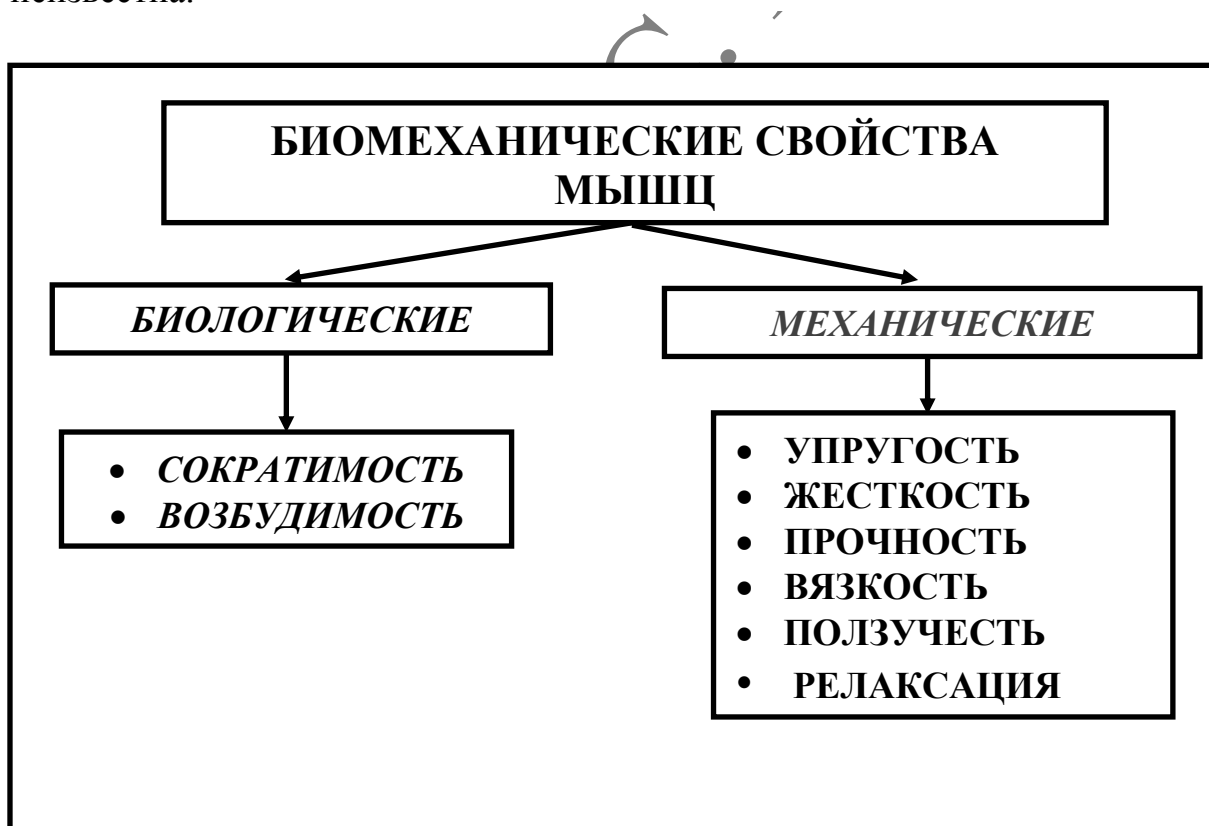


Рисунок 12 – Биомеханические свойства мышц

Сократительные (контрактильные) компоненты соответствуют тем участкам саркомеров мышцы, где актиновые и миозиновые миофиламенты перекрывают друг друга. В этих участках при возбуждении мышцы происходит механическое взаимодействие между актиновыми и миозиновыми филаментами, приводящее к изменению натяжения и длины мышцы.

Поскольку каждая миофибрилла состоит из большого числа (n) последовательно расположенных саркомеров, то величина и скорость изменения длины миофибриллы в n раз больше, чем у одного саркомера. Сила, развиваемая каждым из них, одинакова и равна силе, регистрируемой на конце миофибриллы (подобно тому, как равны силы в каждом из звеньев цепи, к концам которой приложены растягивающие силы). Эти же самые n саркомеров, соединенные параллельно (что соответствует большему числу миофибрилл), дали бы кратное увеличение в силе, но при этом скорость изменения длины мышцы была бы той же, что и скорость одного саркомера. Поэтому при прочих равных условиях увеличение физиологического поперечника мышцы привело бы к увеличению ее силы, но не изменило бы скорости укорочения, и наоборот, увеличение длины мышцы сказалось бы положительно на скорости сокращения, но не повлияло бы на ее силу.

Покоящаяся мышца обладает упругими свойствами: если к ее концу приложена внешняя сила, мышца растягивается (ее длина увеличивается), а после снятия внешней нагрузки восстанавливает свою исходную длину. Зависимость между величиной нагрузки и удлинением мышцы непропорциональна (не подчиняется закону Гука).

Сначала мышца растягивается легко, а затем даже для небольшого ее удлинения надо прикладывать все большую силу (иногда мышцу в этом отношении сравнивают с вязаными вещами: если растягивать, скажем, трикотажный шарф, то вначале он легко изменяет свою длину, а затем становится практически нерастяжимым).

Если мышцу растягивать повторно через небольшие интервалы времени, то ее длина увеличится больше, чем при однократном воздействии. Это свойство мышц широко используется в практике при выполнении упражнений на гибкость (пружинистые движения, повторные махи и т. п.).

Длина, которую стремится принять мышца, будучи освобожденной от всякой нагрузки, называется равновесной (или свободной). При такой длине мышцы ее упругие силы равны нулю. В живом организме длина мышцы всегда несколько больше равновесной и поэтому даже расслабленные мышцы сохраняют некоторое натяжение.

При растягивании мышцы больше равновесной длины появляются упругие силы в параллельных упругих компонентах.

Если при длине, превышающей равновесную, мышца сокращается, то сила, которую проявляют контрактильные элементы, складывается с силой упругой деформации, и суммарная сила тяги мышцы увеличивается. Поэтому при длине выше равновесной сила мышцы при сокращении больше.

Чем больше в мышце соединительнотканых образований, тем раньше при ее растягивании возникают упругие силы и тем больше их вклад в суммарное напряжение возбужденной мышцы.

5. СВОЙСТВА БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Опорно-двигательный аппарат – это управляемые биокинематические цепи (звенья и их соединения), оснащенные группами мышц. Вместе они выполняют задаваемые движения как биомеханизм.

Самой характерной чертой строения биомеханической системы считается его переменный характер, т.к. число движущихся звеньев, и степени свободы движений, и состав мышечных групп, и их взаимодействия переменны (рисунок 13).



Рисунок 13 – Свойства биомеханической системы

Биокинематические цепи опорно-двигательного аппарата состоят из подвижно соединенных звеньев (твердых, упругих и гибких) и

отличаются их переменным составом, своей длиной и формой (составные рычаги и маятники).

Фиксирование суставов (блокада) и их освобождение (снятие динамических связей – тяги мышц) изменяют число движущихся звеньев в цепи. Она может превратиться как бы в одно звено или сохранять движение в части сочленений или во всех сочленениях.

Многозвенные маятники имеют переменную длину, т.к. расстояние по прямой от проксимального сочленения до конца открытой цепи при ее сгибании-разгибании изменяется. Это влияет на величину инертного сопротивления (изменения момента инерции).

Биокинематические цепи, замыкаясь геометрически (связыванием между собой концевых звеньев), изменяют свои свойства (передача усилий, возможности управления). В частности, возникают составные рычаги со сложной передачей тяг многосуставных мышц. Твердые Звенья (кости), упругие (мышцы) и гибкие (связки, сами мышцы и их сухожилия), изменяя степень и характер своего участия в движениях, обеспечивают многообразные возможности движений.

Свойства биомеханической системы позволяют регулировать подвод и расход энергии и управлять движениями в переменных условиях при смене двигательных задач.

Биомеханическая система характеризуется:

- двигательной деятельностью,
- энергообеспечением двигательной деятельности
- управлением двигательными действиями.

При движениях в биомеханической системе происходят **деформации:**

Позная - перемена позы как взаимного расположения звеньев под действием внутренних и внешних сил; Позная деформация и есть, собственно говоря, те движения, которые необходимы для решения двигательной задачи. На работу по перемещению звеньев тела энергия затрачивается эффективно.

Мышечная – изменения длины и поперечника мышц при их сокращении и растягивании, напряжении и расслаблении (изменения сократительных и упругих элементов при возбуждении и нагрузках);

Внутренняя – смещение мягких и жидких тканей при ускорениях, что вызывает появление внутренних сил инерции и трения.

Биомеханические системы получают механическую энергию благодаря приложению внешних сил, а также в результате превращения в мышцах внутренней химической энергии в механическую.

Приспособительная активность биомеханической системы. Приспособительная активность в переменных условиях обуславливает

эффективность движений благодаря соответствию нервных импульсов из центральной нервной системы внешнему окружению, начальным условиям движений (тяге мышц, положению и скорости звена), состоянию организма и двигательной задаче (обоснование отягощений).

На биомеханическую систему может воздействовать множество окружающих тел (снаряды, отягощения, партнеры, противники), опора и среда (воздушная, водная). Все эти воздействия (внешние силы) обычно не остаются постоянными, они переменны по своей величине, направлению и месту приложения.

Пассивные внутренние сопротивления также изменчивы. Это относится к силам упругим, вязким, инерционным, трения, реакциям опоры и др. Особенно велики и переменны по величине и направлению инерционные реактивные силы (центробежные при вращательном движении, инерционное сопротивление и напор звеньев при их разгоне и торможении).

Таким образом, переменные мышечные силы действуют в переменных условиях внешнего воздействия и внутренних сопротивлений, возникающих в самой биомеханической системе.

Запаздывание эффекта. В биомеханической системе всегда имеют место обусловленные механическими и биологическими причинами запаздывания механического эффекта в ответ на воздействия.

В абсолютно твердом теле ускорение всего тела, всех его частиц возникает в момент приложения силы. В упругом же теле механический эффект передается всем его частицам лишь с течением времени. В системе тел с упругими связями движение не может мгновенно передаваться всем звеньям. Скорость деформации обусловлена упругостью, вязкостью, расположением звеньев тела в суставах, приложенными силами и другими причинами. Все эти факторы в движениях переменны.

Регистрация электромиограмм и усилий мышцы всегда показывает расхождение во времени между электрической активностью мышцы и ее напряжением. Например, при растягивании мышцы в ней возникает упругое напряжение, а токи действия запаздывают; или при выключении мышцы токи действия прекращаются, а упругое напряжение еще остается.

Физиологические явления запаздывания реакции: нервный импульс не передается мгновенно (предел скорости передачи возбуждения, задержка проведения импульса в синапсах, изменение проводимости).

Запаздывания механического эффекта не исключают того, что благодаря сигнальному значению раздражителей организм заранее подготавливается к будущему воздействию, опережает его.

Неоднозначность нервного импульса и движения. Определенный эффект движения возможен лишь в том случае, если импульс из

центральной нервной системы будет соответствовать начальным условиям движения – напряжению мышц, положению и скорости звена.

Согласно упрощенному и неправильному представлению, каков нервный импульс, исходящий из центральной нервной системы, таково и напряжение мышцы и, следовательно, таково и движение. Такая точка зрения предполагает, что связи между импульсом, напряжением мышцы и движением всегда однозначны. В действительности же связи между ними сложнее.

Возбуждение мышцы и ее напряжение связаны неоднозначно: напряжение зависит не только от нервного импульса, но и от состояния мышцы (упругого напряжения при растягивании). Одинаковые импульсы вызывают в мышце, растянутой до разной длины неодинаковое напряжение. Имеют значение также быстрота предварительного растягивания и время, прошедшее с момента изменения длины мышцы.

Напряжение определенной мышцы – не единственная причина изменения движения звена. Все силы, приложенные к звену, в своей совокупности определяют изменение движения (ускорение) звена.

6. ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЙ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Под режимом движений понимаются условия, в которых осуществляется двигательная деятельность человека: например, статический режим – при сохранении положения, динамический (уступающий и преодолевающий) – при смене положений тела. Создание соответствующих условий обеспечивается рациональным использованием возможностей биомеханической системы. Применяя определенный режим движений, можно добиться высокого эффекта в решении поставленной двигательной задачи. В движениях человека большое распространение, особенно в спортивных упражнениях, имеет колебательный режим (рисунок 14).

Колебательный режим в движениях Колебания – это многократные повторения движений через определенные промежутки времени.

Колебательный режим характеризуется повторяющейся сменой направления движения. Например, маятник качается вправо-влево, волна движется вверх-вниз, мышца укорачивается и удлиняется, нога сгибается и разгибается и т. д. Подобное отклонение от равновесного состояния обусловлено действием *возмущающей силы* – она отклоняет движущийся объект до крайнего положения.

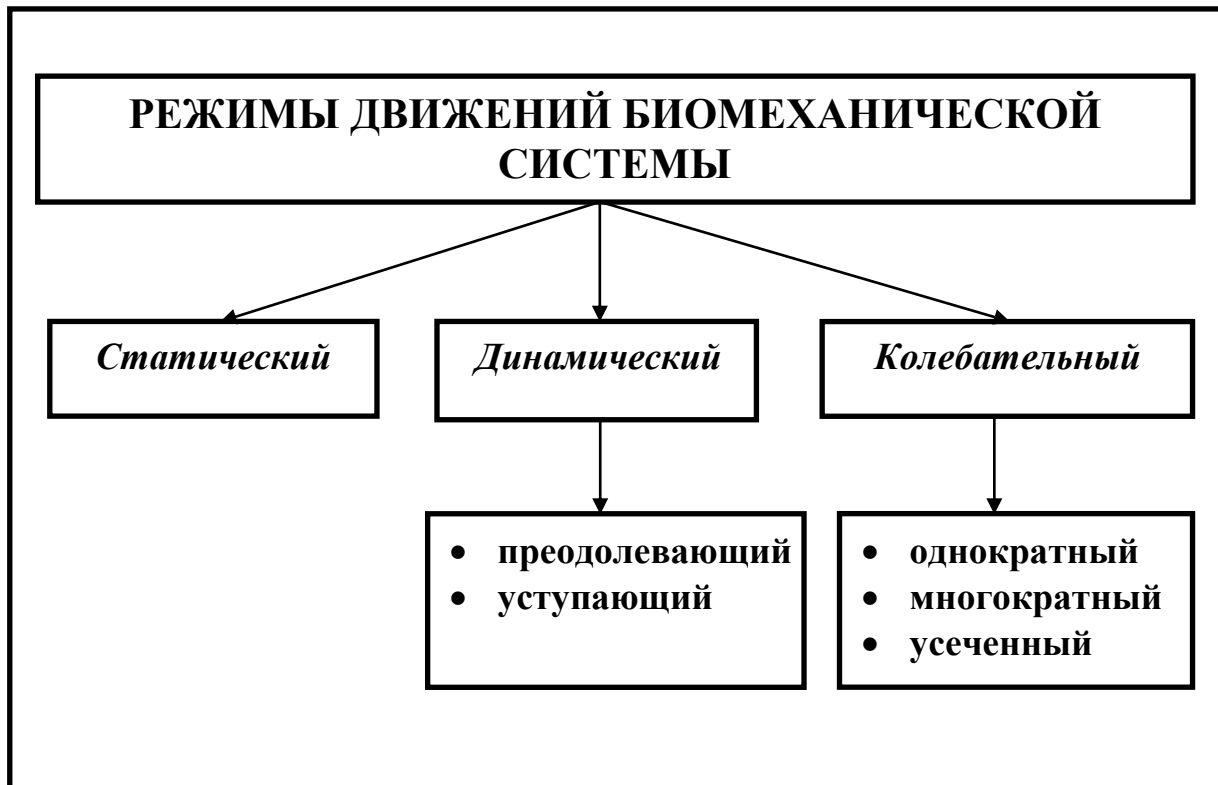


Рисунок 14 – Режимы движений биомеханической системы

По мере приближения к крайнему положению нарастает *восстанавливающая сила*, которая останавливает движение и направляет объект в сторону равновесия. В положении равновесия тело или звено не останавливается и продолжает двигаться к другому крайнему состоянию.

Принцип центробежного вектора моторных разверток – первыми начинают движение сочленения тела, ближайшие в структурной цепи к центру тяжести тела.

Принцип волны – шаг волны постепенно убывает по мере ее продвижения от опоры к цели, т.е. частота растет. При этом аналогичным образом уменьшается и амплитуда волны, что дает многократное увеличение скорости на конце волны. При этом происходит существенный прирост энергии.

Колебательный режим в движениях человека может иметь **ряд вариантов:**

а) колебания могут длиться долго, многократно повторяясь цикл за циклом, например ноги при беге сгибаются и разгибаются;

б) цикл может быть выполнен однократно, например приседание – выпрямление, замах – удар;

в) цикл может быть усеченным, например торможение звена и его разгон в обратном направлении (направление ускорения остается без изменения, но направление скорости меняется при возвратном движении).

Во всех приведенных случаях изменяется длина мышц: разгоняя звено, они укорачиваются, а тормозя его, растягиваются, как упругие ограничители. Направление движений сменяется на противоположное (реверсивное движение). При этом проявляется так называемый «буферный» эффект – кинетическая энергия, поглощенная растягиваемой мышцей, возвращается ею при возвратном движении (упругая отдача).

Повышение уровня энергии движения. Для повышения уровня энергии движения целесообразно использовать зону больших растягиваний мышц с переходом от уступающей к преодолевающей работе, обеспечив необходимую подготовку мышц и совершенствование техники движений.

Для того чтобы мышцы были способны более эффективно работать в реверсивном режиме (в переходном от растягивания к сокращению), надо в процессе тренировки:

- а) увеличивать их растяжимость (движения с большим размахом);
- б) повышать линейную упругость (жесткость или упругие силы при крайнем растягивании);
- в) увеличивать быстроту нарастания напряжения (большой градиент силы по времени – взрывная сила);
- г) снижать внутренние сопротивления (улучшать расслабление);
- д) уточнять требования к технике спортивных упражнений, совершенствуя режим движений.

СЕМИНАРСКОЕ ЗАНЯТИЕ ПО ТЕМЕ 1.3

1. Какова схема устройства двигательного аппарата человека?
2. Что такое кинематическая пара и кинематическая цепь?
3. Каковы степени свободы в кинематических цепях тела человека?
4. Дайте понятие о звеньях тела как рычагах.
5. Как проявляется "золотое правило" механики в теле человека?
6. Каковы механические и биологические свойства мышц?
7. Что влияет на силу мышц?
8. Какие существуют виды работ мышц?
9. Как проявляется групповое действие мышц?

ТЕМА 1.4 БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА

1. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАК ПОНЯТИЕ
2. СИСТЕМА ОТСЧЕТА РАССТОЯНИЯ И ВРЕМЕНИ
3. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
4. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Наблюдая движения человека, можно заметить, что многие их особенности все время изменяются. Изменяется положение звеньев тела, скорости движения и многое другое. Особенности (или признаки) движения позволяют разделить сложное движение на составные части, заметить, как они влияют одна на другую, как помогают достичь цели. Для этого и изучают характеристики движений человека.

Характеристики движений человека – это те особенности, или признаки, по которым движения различаются между собой. Различают качественные и количественные характеристики (рисунок 15).

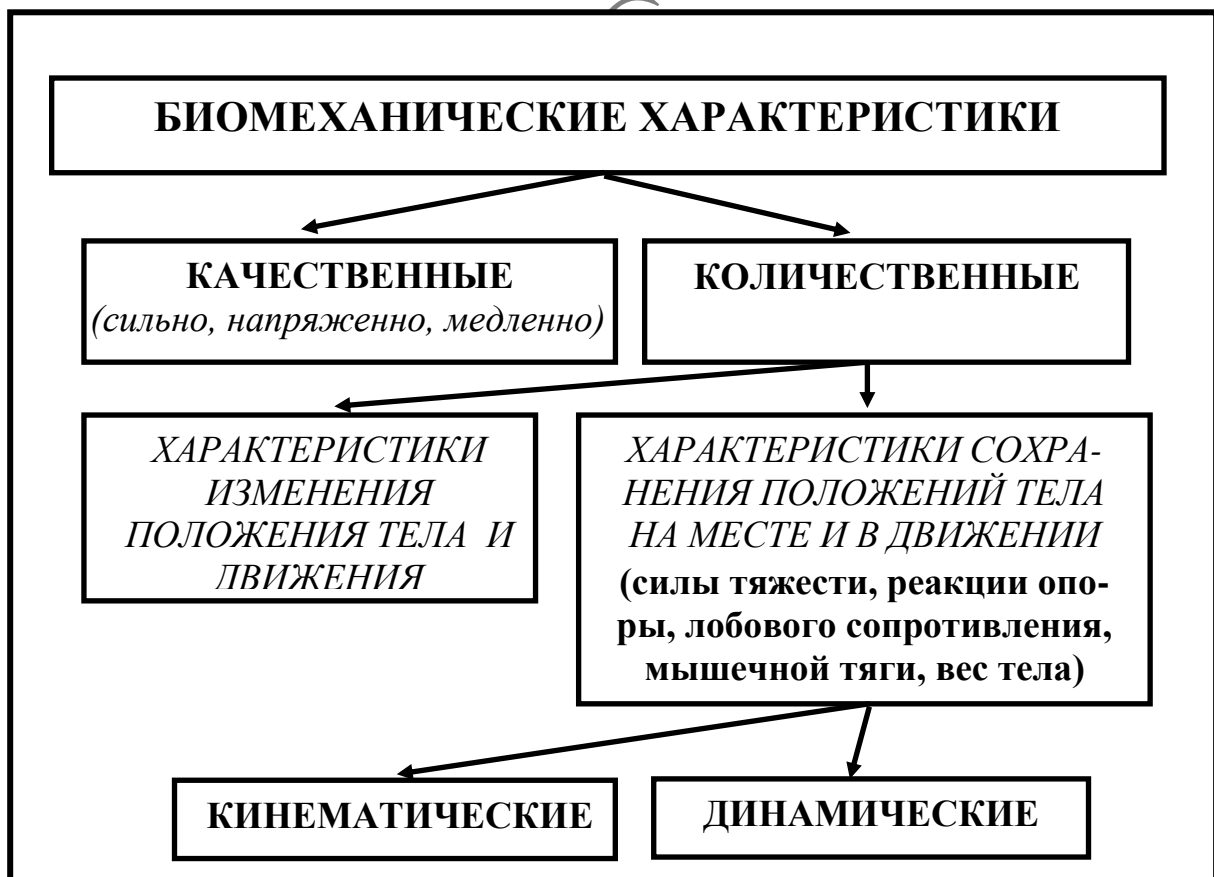


Рисунок 15 – Виды биомеханических характеристик

Качественные характеристики - характеристики, описываемые только словами и не имеющие точной количественной меры (например: напряженно, свободно, плавно, мягко и др.).

Количественные характеристики - характеристики, которые измеряют или вычисляют, они имеют количественную меру.

Педагогу при проведении урока нечем и некогда измерять и регистрировать количественные характеристики. Ему приходится пользоваться качественными характеристиками, он проводит качественный биомеханический анализ движений каждого ученика.

Изучая движения с помощью измерительной и записывающей аппаратуры, получают количественные характеристики. Их обрабатывают, проводят вычисления для количественного биомеханического анализа. Конечно, затем должен следовать и качественный анализ, чтобы понять законы движений и использовать их в физическом воспитании.

Хорошо владея навыками количественного анализа, в повседневной практической работе можно с успехом пользоваться только качественным анализом.

Наиболее важными являются те, которые характеризуют изменения положения тела и движения. К ним относятся кинематические и динамические характеристики.

При этом следует отметить тот факт, что, движения человека и предметов, перемещаемых им, можно заметить и измерить, только сравнивая их положения с положением выбранного для сравнения тела (тело отсчета). Поэтому движения человека в биомеханике рассматриваются как относительные.

2. СИСТЕМА ОТСЧЕТА РАССТОЯНИЯ И ВРЕМЕНИ

Движение выражается в изменении с течением времени взаимного положения тел. Его можно наблюдать и отсчитывать только относительно других реальных тел (например, при прыжках в длину – относительно бруска) или условных (например, в старте яхт – относительно линии створа).

В зависимости от условий задачи, стоящей при изучении любого конкретного двигательного действия, выбирается та или иная система отсчета (рисунки 16, 17).

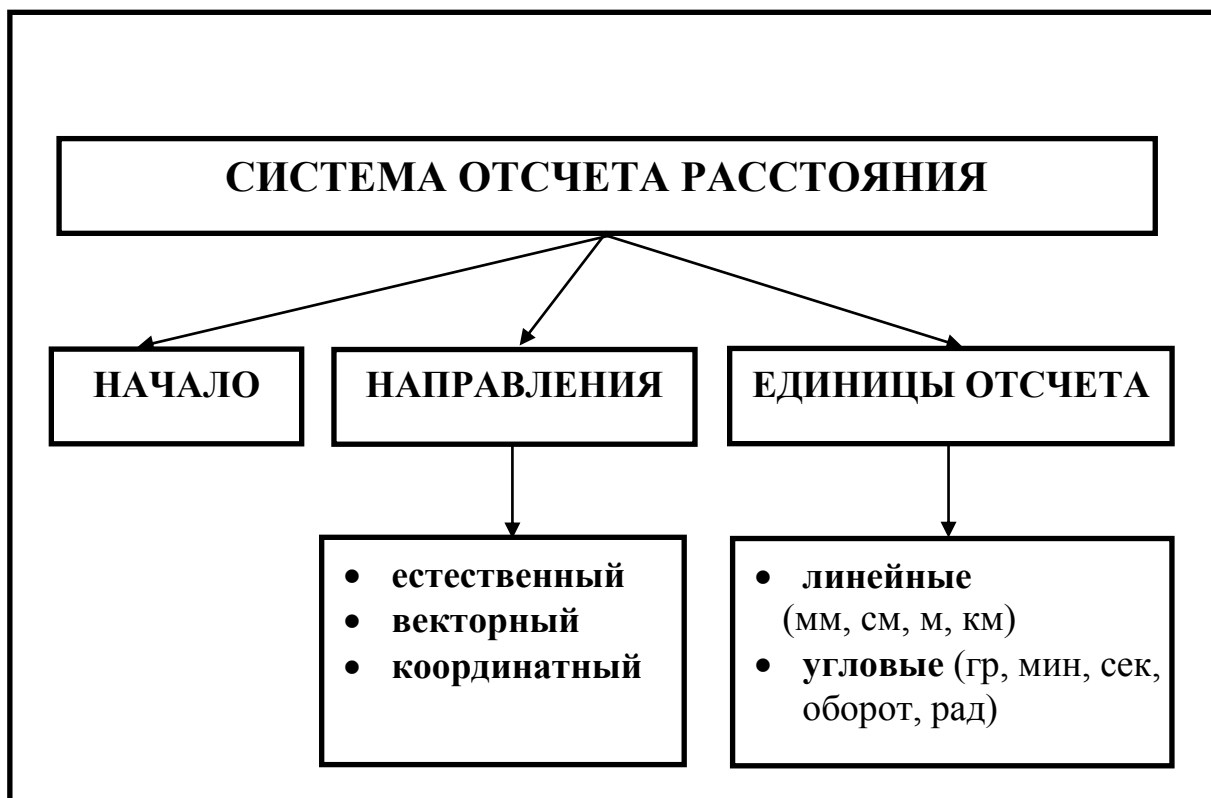


Рисунок 16 – Система отсчета расстояния

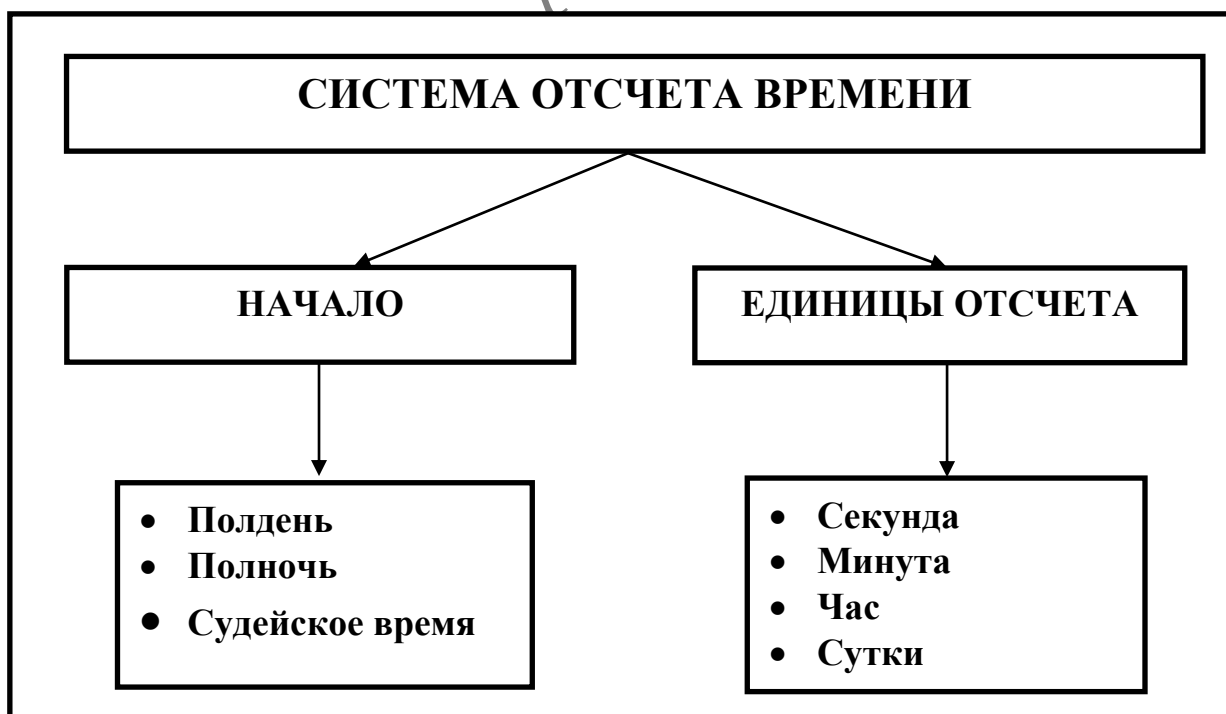


Рисунок 17 – Система отсчета времени

Принято выделять:

- **инерциальную систему отсчета** (Земля, дорожка, лыжня) - движения их в данной системе незаметны при измерениях, т.е. изменениями скорости, ускорениями при решении данной задачи можно пренебречь;

- **неинерциальная система отсчета** - движущееся тело (скользящая лыжа, раскачивающиеся кольца), движение которого происходит с заметным ускорением, существенно влияющим на отсчет расстояния;

- **соматическая система отсчета** (тело человека) - движение звеньев рассматривается относительно туловища.

3. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Наблюдая сам факт движений, их внешнюю картину, различают пространственную форму (рисунок, узор) движений и их характер (изменение во времени - быстрее, чаще и т.п.).

Количественные характеристики, раскрывающие форму и характер движений, называются **кинематическими** (рисунок 18).

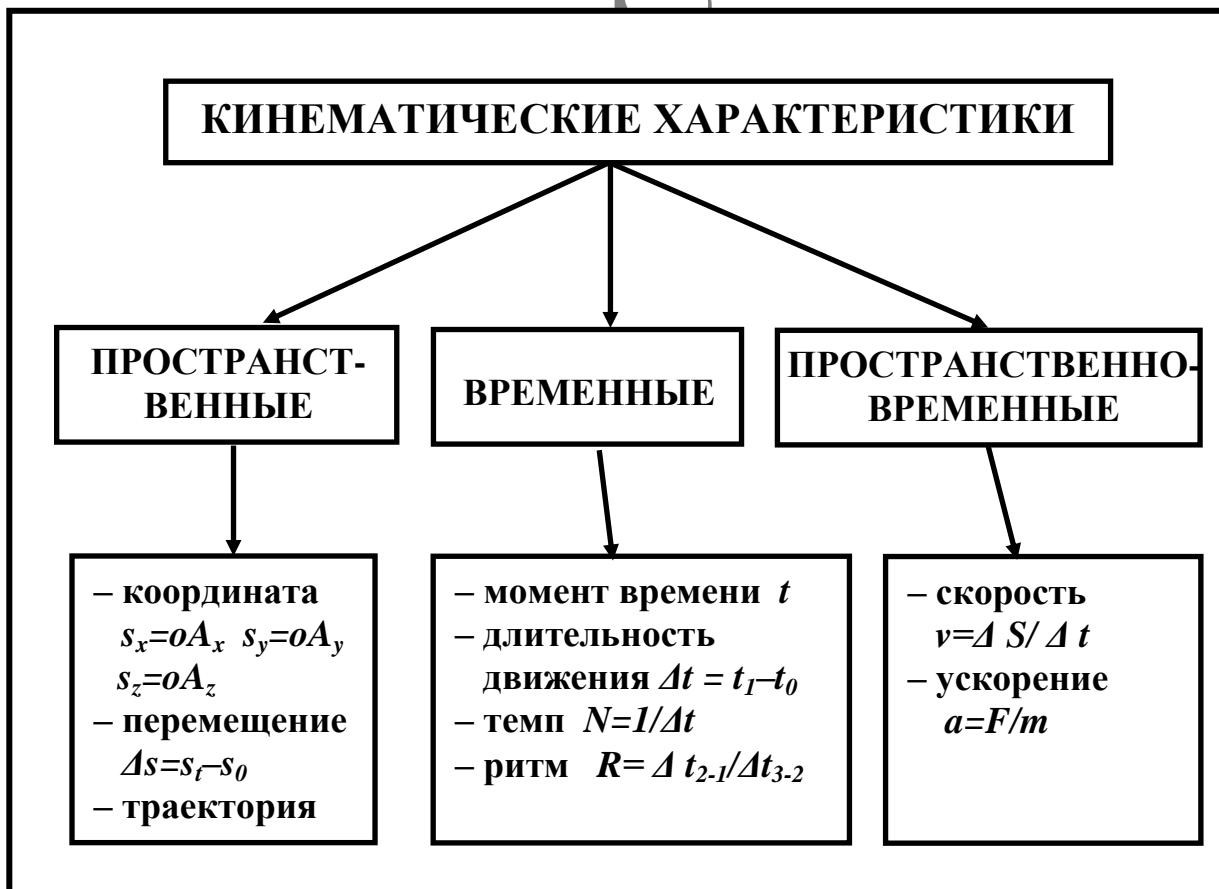


Рисунок 18 – Кинематические характеристики

Они описывают движения в пространстве и во времени. Соответственно различают характеристики:

- пространственные;
- временные;
- пространственно-временные.

Пространственные характеристики позволяют определить, каково исходное и конечное положения при движении (координата), какова между ними разница, насколько они изменились (перемещение) и через какие промежуточные положения выполнялось движение (траектория), т.е. пространственные характеристики в целом определяют пространственную форму движений человека.

Координата точки – это пространственная мера местоположения точки относительно системы отсчета.

С точки зрения механики описать движение - это значит определить положение в любой момент времени, определить координаты опознавательных точек тела, по которым изучают ход движения в пространстве.

По координатам определяют, где находится изучаемая точка относительно начала отсчета, измеряя ее линейные координаты. Положение точки на линии определяет одна координата, на плоскости – две, в пространстве – три.

Изучая движение нужно определить:

- 1) начальное положение, из которого движение начинается;
- 2) конечное положение, в котором движение заканчивается;
- 3) ряд мгновенных промежуточных положений, которые принимает тело при выполнении движения.

Перемещение точки – это пространственная мера изменения местоположения точки в данной системе отсчета: $S = S_k - S_n$.

Перемещение – величина векторная. Она характеризуется численным значением (модулем) и направлением, т.е. определяет размах и направление движения. Если после движения точка вернулась в исходное положение, перемещение равно нулю.

Таким образом, перемещение есть не само движение, а лишь его окончательный результат – расстояние по прямой и направление от исходного до конечного положения.

Перемещение (линейное, в поступательном движении) измеряется разностью координат в моменты начала и окончания движения.

Перемещение тела при вращательном движении измеряется углом поворота – разностью угловых координат в одной и той же системе отсчета расстояний.

Траектория точки – это пространственная мера движения (воображаемый след движения точки). Траекторию определяют, устанавливая ее длину, кривизну и ориентацию в пространстве.

Пространственный рисунок движения точки дает ее траектория. Длина траектории показывает, каков путь точки.

Путь точки в прямолинейном движении равен расстоянию от исходного до конечного положения.

При криволинейном движении путь точки равен арифметической сумме модулей ее элементарных перемещений.

Кривизна траектории показывает, какова форма движения в пространстве. Чтобы определить кривизну траектории, измеряют радиус кривизны. Если траектория является дугой окружности, радиус кривизны постоянный. С увеличением кривизны ее радиус уменьшается, и, наоборот, с уменьшением кривизны, радиус увеличивается.

Ориентация траектории в пространстве при одной и той же ее форме может быть разная. Ориентацию определяют для прямолинейной траектории по координатам точек начального и конечного положений; для криволинейной траектории – по координатам этих двух точек и третьей точки, не лежащей с ними на одной прямой линии.

В совокупности ориентация, длина и кривизна траектории позволяют определить направление, размах и форму движения точки, а также начальное положение, конечное и все промежуточные.

Временные характеристики раскрывают движения во времени: когда оно началось и закончилось (момент времени), как долго длилось (длительность движения), как часто выполнялось движение (темп), как движения были построены во времени (ритм). Вместе с пространственно-временными характеристиками они определяют характер движений человека.

Момент времени – это временная мера положения точки тела и системы, определяемая промежутком времени до него от начала отсчета.

Момент времени определяют не только для начала и окончания движения, но и для других важных мгновенных положений. В первую очередь это моменты существенного изменения движения: заканчивается одна часть (фаза) движения и начинается следующая (например: отрыв стопы от опоры в беге – это момент окончания фазы отталкивания и начало фазы полета). По моментам времени определяют длительность движения.

Длительность движения – это его временная мера, которая измеряется разностью моментов времени окончания и начала движения: $t = t_k - t_n$.

Длительность движения представляет собой количество времени, прошедшее между двумя ограничивающими его моментами времени. Сами моменты (как границы между двумя смежными промежутками времени) длительности не имеют.

Измеряя длительность, пользуются одной и той же системой отсчета времени. Узнав путь точки и длительность ее движения, можно определить ее скорость. Зная длительность движений, определяют также их темп и ритм.

Темп движений - это временная мера повторности движений. Он измеряется количеством движений, повторяющихся в единицу времени (частота движений) : $N=1/t$. Темп – величина, обратная длительности движений. Чем больше длительность каждого движения, тем меньше темп, и наоборот. В циклических движениях темп может служить показателем совершенства техники.

Ритм движений – это временная мера соотношения частей движений. Он определяется по соотношению промежутков времени, затраченного на соответствующие части движения.

Ритм определяют как соотношение двух периодов времени (например: опоры и полета в беге) или длительности двух фаз периода (например: фазы амортизации и фазы отталкивания в опорном периоде). Можно говорить и о ритме ряда фаз (например: соотношение длительностей пяти фаз скользящего шага в лыжном ходе). Ритм бывает постоянным и переменным.

Пространственно-временные характеристики определяют, как изменяются положения и движения человека во времени.

Скорость точки – это пространственно-временная мера движения. Она определяет быстроту изменения положения точки в пространстве с изменением времени: $V=S/t$.

В поступательном движении скорость измеряется отношением пройденного пути (с учетом его направления) к затраченному времени; во вращательном движении – отношением угла поворота ко времени, за которое произошло вращение.

Ускорение точки – это пространственно-временная мера изменения движения, которая характеризует быстроту изменения скорости по величине и направлению. Ускорение измеряется отношением изменения скорости (угловой скорости) к затраченному на него времени: $a=v/t$.

Различают ускорения точки: а) положительное, имеющее одинаковое направление со скоростью, - скорость возрастает; б) отрицательное, имеющее направление, противоположное направлению скорости, - скорость убывает; в) нормальное – скорость прежняя, изменяется направление.

4. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Они раскрывают причины изменения движения. Все движения человека и движимых им тел под действием сил изменяются по величине и направлению скорости. Чтобы раскрыть механизм движений (причины их возникновения и ход их изменения), исследуют динамические характеристики (рисунок 19).

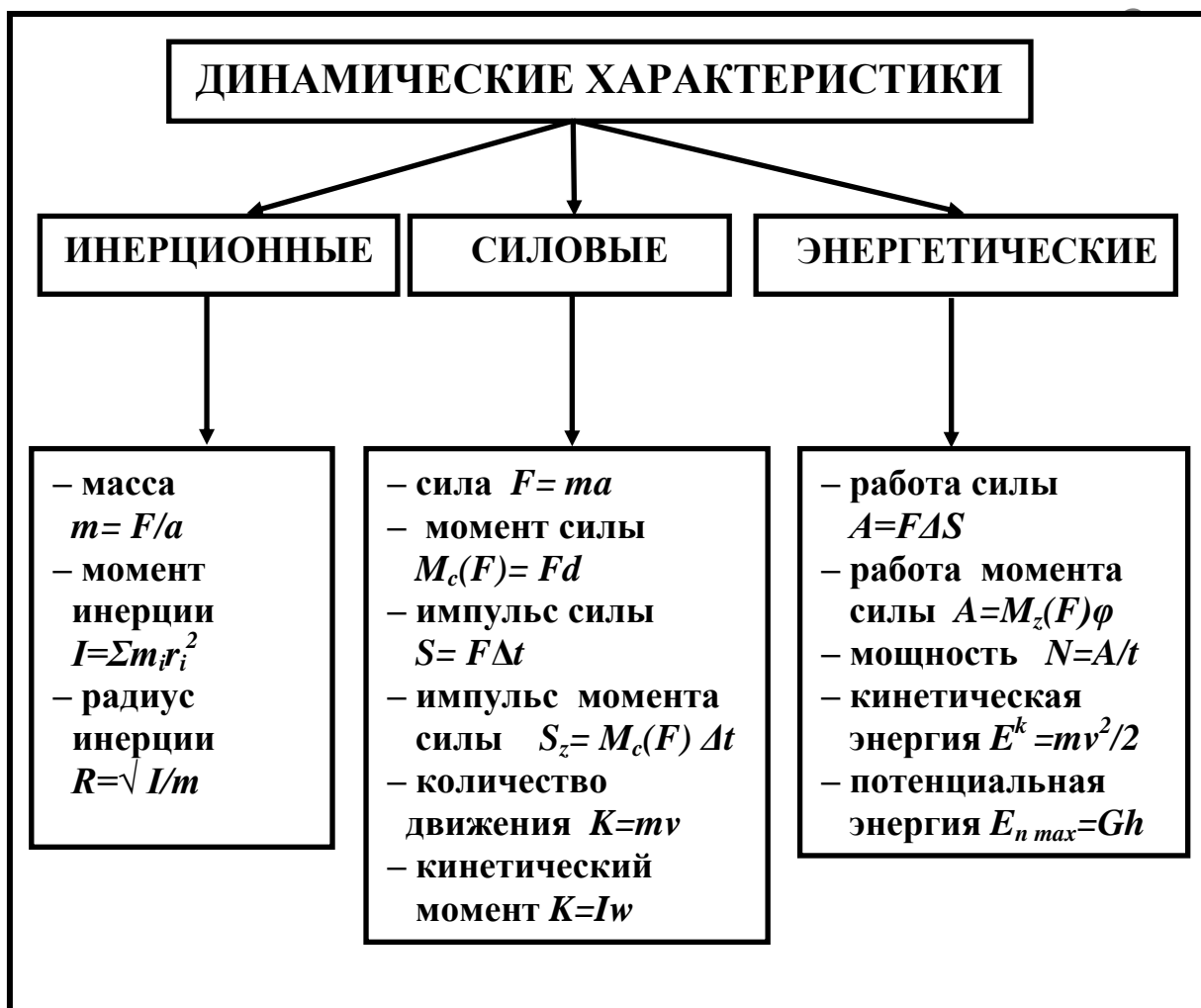


Рисунок 19 – Динамические характеристики

К ним относятся инерционные характеристики (особенности самих движущихся тел), силовые (особенности взаимодействия тел) и энергетические (состояния и изменения работоспособности, биомеханических систем).

Инерционные характеристики раскрывают, каковы особенности тела человека и движимых им тел в их взаимодействиях. От инерционных характеристик зависит сохранение и изменение скорости.

Все физические тела обладают свойством инертности (или инерции), которое проявляется в сохранении движения, а также в особенностях изменения его под действием сил. Понятие инерции раскрывается в первом законе Ньютона: "Всякое тело сохраняет свое состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения до тех пор, пока внешние приложенные силы не заставят его изменить это состояние". Говоря проще: тело сохраняет свою скорость, а также под действием внешних сил изменяет ее.

Масса – это мера инертности тела при поступательном движении. Она измеряется отношением величины приложенной силы к вызываемому ею ускорению: $m=F/a$. Масса тела характеризует, как именно приложенная сила может изменить движение тела. Одна и та же сила вызовет большее ускорение у тела с меньшей массой, чем у тела с большей массой.

Момент инерции – это мера инертности тела при вращательном движении. Момент инерции тела относительно оси равен сумме произведений масс всех его частиц на квадраты их расстояний от данной оси вращения: $I=mr^2$.

Момент инерции тела больше, когда его частицы дальше от оси вращения, а значит угловое ускорение тела под действием того же момента силы меньше; если частицы ближе к оси, то угловое ускорение больше, а момент инерции меньше. Значит, если приблизить тело к оси, то легче вызвать угловое ускорение, легче разогнать тело во вращении, легче и остановить его. Этим пользуются при движении вокруг оси.

Силовые характеристики. Известно, что движение тела может происходить как под действием приложенной к нему движущей силы, так и без движущей силы (по инерции), когда приложена только тормозящая сила. Движущие силы приложены не всегда; без тормозящих же сил движения не бывает. Изменение движений происходит под действием сил. Сила не причина движения, а причина изменения движения; силовые характеристики раскрывают связь действия силы с изменением движения.

Сила – это мера механического воздействия одного тела на другое в данный момент времени. Численно она определяется произведением массы тела и его ускорения, вызванного данной силой: $F=ma$.

Чаще всего говорят про силу и результат ее действия, но это применимо только к простейшему поступательному движению тела. В движениях человека как системы тел, где все движения частей тела вращательные, изменение вращательного движения зависит не от силы, а от момента силы.

Момент силы – это мера вращающего действия силы на тело. Он определяется произведением силы на ее плечо: $Mz(F)=Fd$. Момент силы

обычно считают положительным, когда сила вызывает поворот тела против часовой стрелки, и отрицательным при повороте по часовой стрелке.

Чтобы сила могла проявить свое вращающее действие, она должна иметь плечо. Иначе говоря, она не должна проходить через ось вращения.

Определение силы или момента силы, если известна масса или момент инерции, позволяет узнать только ускорение, т.е. как быстро изменяется скорость. Надо еще узнать, насколько именно изменится скорость. Для этого должно быть известно, как долго была приложена сила. Иначе говоря, следует определить импульс силы (или ее момента).

Импульс силы – это мера воздействия силы на тело за данный промежуток времени (в поступательном движении). Он равен произведению силы и продолжительности ее действия: $S=Ft$.

Любая сила, приложенная даже в малые доли секунды (например: удар по мячу), имеет импульс. Именно импульс силы определяет изменение скорости, силой же обусловлено только ускорение.

Во вращательном движении момент силы, действуя в течение определенного времени, создает импульс момента силы.

Импульс момента силы – это мера воздействия момента силы относительно данной оси за данный промежуток времени (во вращательном движении) : $S_z=M_z(F)t$.

Вследствие импульса как силы, так и момента силы возникают изменения движения, зависящие от инерционных свойств тела и проявляющиеся в изменении скорости (количество движения, кинетический момент).

Количество движения – это мера поступательного движения тела, характеризующая его способность передаваться другому телу в виде механического движения. Количество движения тела измеряется произведением массы тела на его скорость: $K=mV$.

Кинетический момент (момент количества движения) – это мера вращательного движения тела, характеризующая его способность передаваться другому телу в виде механического движения. Кинетический момент равен произведению момента инерции относительно оси вращения на угловую скорость тела: $K_z=IW$.

Соответствующее изменение количества движения происходит под действием импульса силы, а под действием импульса момента силы происходит определенное изменение кинетического момента (момента количества движения).

Таким образом, к ранее рассмотренным кинематическим мерам изменения движения (скорости и ускорению) добавляются динамические меры изменения движения (количество движения и кинетический момент).

Совместно с мерами действия сил они отражают взаимосвязь сил и движения. Изучение их помогает понять физические основы двигательных действий человека.

Энергетические характеристики. При движениях человека силы, приложенные к его телу на некотором пути, совершают работу и изменяют положение и скорость звеньев тела, что изменяет его энергию. Работа характеризует процесс, при котором меняется энергия системы. Энергия же характеризует состояние системы, изменяющейся вследствие работы. Энергетические характеристики показывают, как меняются виды энергии при движениях и протекает сам процесс изменения энергии.

Работа силы – это мера действия силы на тело при некотором его перемещении под действием этой силы. Она равна произведению модуля силы и перемещения точки приложения силы: $A=FS$.

Если сила направлена в сторону движения (или под острым углом к этому направлению), то она совершает положительную работу, увеличивая энергию движения тела. Когда же сила направлена навстречу движению (или под тупым углом к его направлению), то работа силы отрицательная и энергия движения тела уменьшается.

Работа момента силы – это мера воздействия момента силы на тело на данном пути (во вращательном движении). Она равна произведению модуля момента силы и угла поворота: $Az=Mz(F)\varphi$.

Понятие работы представляет собой меру внешних воздействий, приложенных к телу на определенном пути, вызывающих изменения механического состояния тела.

Мощность силы – мера быстроты изменения работы силы. Измеряется отношением работы ко времени, в течение которого она была произведена: $N=A/t$.

Энергия – это запас работоспособности системы. Механическая энергия определяется скоростями движений тел в системе и их взаимным расположением; значит, это энергия перемещения и взаимодействия.

Кинетическая энергия тела – это энергия его механического движения, определяющая возможность совершить работу. При поступательном движении она измеряется половиной произведения массы тела на квадрат его скорости: $E_k(\text{пост})=mv^2/2$, при вращательном движении половиной произведения момента инерции на квадрат его угловой скорости: $E_k(\text{вращ.})=IW^2/2$.

Потенциальная энергия тела – это энергия его положения, обусловленная взаимным относительным расположением тел или частей одного и того же тела и характером их взаимодействия. Потенциальная энергия в поле сил тяжести определяется произведением силы тяжести на

разность уровней начального и конечного положения над землей (относительно которого определяется энергия) : $E_p = Gh$.

Полная механическая энергия системы равна сумме потенциальной и кинетической энергии.

Энергия как мера движения материи переходит из одного вида в другой. Так, химическая энергия в мышцах превращается в механическую (внутреннюю потенциальную упругодеформированных мышц). Порожденная последней сила тяги мышц совершает работу и преобразует потенциальную энергию в кинетическую энергию движущихся звеньев тела и внешних тел. Механическая энергия внешних тел (кинетическая), передаётся при их действии на тело человека его звеньям, преобразуется в потенциальную энергию растягиваемых мышц-антагонистов и в рассеивающуюся тепловую энергию.

СЕМИНАРСКОЕ ЗАНЯТИЕ ПО ТЕМЕ 1.4

1. Для чего определяются характеристики движений человека?
2. В чем различие кинематических и динамических характеристик?
3. Зачем нужно выбрать систему отсчета и как ею пользоваться?
4. Расскажите о пространственных, временных и пространственно-временных характеристиках движений.
5. Что является мерой инертности тела при поступательном и вращательном движении?
6. Что является причиной изменения движения? Какие характеристики относятся к силовым?
7. Раскройте энергетические характеристики.

ТЕМА 1.5 БИОМЕХАНИКА ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ

1. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА

2. ДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ В ДВИЖЕНИЯХ ЧЕЛОВЕКА

3. СИЛЫ В ДВИЖЕНИЯХ ЧЕЛОВЕКА

3.1 СИЛЫ ВНЕШНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНО ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

3.2 СИЛЫ ВНУТРЕННИЕ ОТНОСИТЕЛЬНО ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

4. БИОЭНЕРГЕТИКА ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ

5. БИОМЕХАНИКА ДЫХАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ

1. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА

В биокинематических цепях тела человека движение может передаваться от звена к звену. Таким образом, движение, например, кисти при броске мяча может быть результатом движения ног и туловища, а также движений в суставах руки. Движение кисти в этом случае как бы составляется из движений и других звеньев. Такое движение в биомеханике называют составным (рисунок 20).

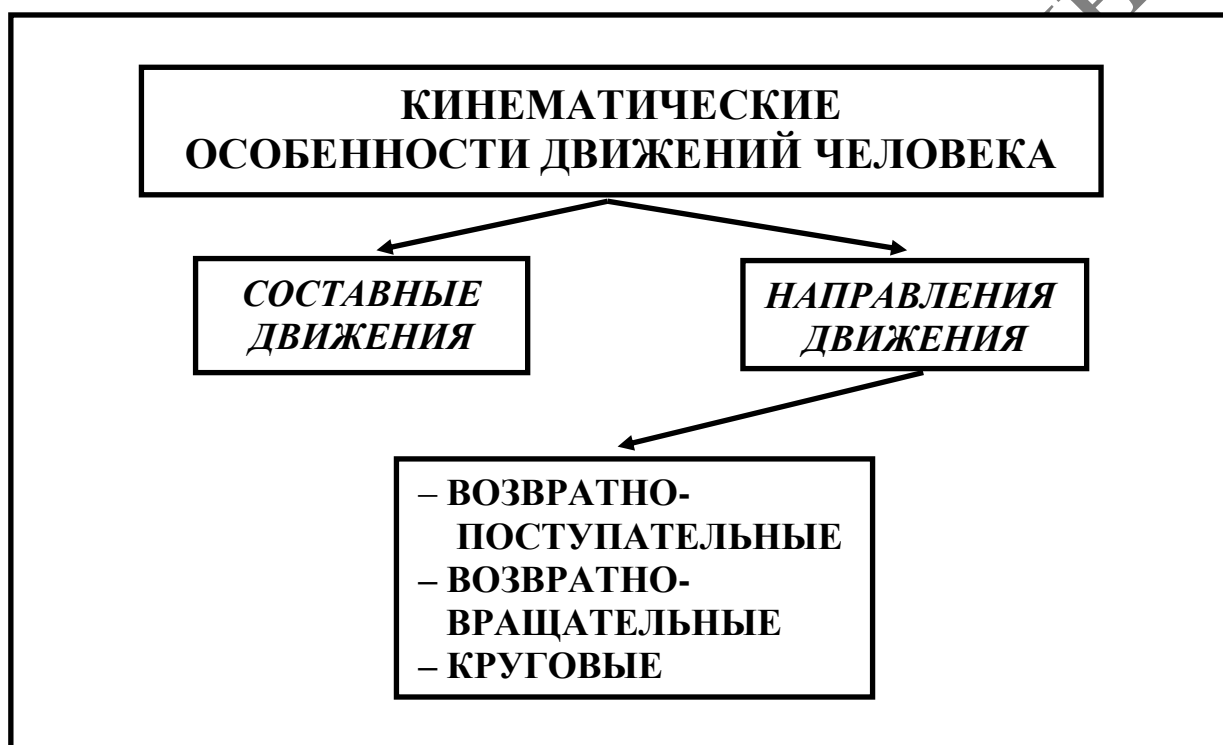


Рисунок 20 – Кинематические особенности движений человека

Составное движение образуется из нескольких составляющих движений в сочленениях биокинематической цепи.

В простейших случаях в механике складываются два или более поступательных движения. В теле человека таких движений не бывает, так как почти во всех суставах звенья движутся вокруг осей сочленений.

При движениях в незамкнутой кинематической цепи могут складываться угловые перемещения, скорости и ускорения, если они направлены в одну сторону. Разнонаправленные движения не складываются, а вычитаются (суммируются алгебраически).

Сложнее составные движения, в которых имеются составляющие движения, вращательные (по дуге окружности) и поступательные (вдоль ее

радиуса). Когда в составном движении принимают участие два тела, то составляющие движения называют **переносными и относительными**.

В случае образования составного движения из вращательных составляющих движений (в биокинематической цепи), кроме суммирования равнонаправленных и вычитания разнонаправленных движений в разных суставах, всегда происходит прибавление движения и вдоль радиуса (поступательное). Значит, биокинематическая цепь (по прямой линии – от ее начала до конца) укорачивается или удлиняется (например, при махе рукой, ногой в прыжках).

В случае приближения звеньев к оси вращения или отдаления от нее, кроме ускорений углового (во вращательном переносном движении) и линейного (в радиальном относительном движении), возникает еще добавочное (или поворотное) ускорение (ускорение Кориолиса). Когда биокинематическая цепь укорачивается, поворотное ускорение звеньев, приближающихся к оси вращения, направлено навстречу вращению, а когда удлиняется – в сторону вращения. От кориолисова ускорения зависит убыстрение и замедление углового поворота цепи.

В биокинематических цепях с большим количеством степеней свободы движений кинематика очень сложна. Каждое движение в сочленениях незамкнутой цепи (например, свободной конечности) влияет на траектории, скорости и ускорения более отдаленных звеньев. В этих случаях характеристики составных движений легче регистрировать, определять на практике, чем рассчитывать.

Направление движений человека. В зависимости от изменения направления скоростей и их сложения, движения звеньев тела человека могут быть **возвратно-вращательными, возвратно-поступательными и круговыми**.

Строение сочленений не позволяет выполнять движения в суставах «по принципу колеса», т. е. делать неограниченный поворот вокруг оси сустава в одну сторону. Ограничители движений (костные образования, мягкие ткани суставов, мышцы) позволяют движения в ряде суставов в пределах не более примерно половины окружности, поэтому почти все движения имеют возвратный характер. **Возвратно-вращательные движения** напоминают движения маятника (колебательные движения) вокруг оси, расположенной поперек биокинематической цепи (сгибание–разгибание) или продольно (супинация – пронация).

Определенное согласование вращательных движений в различных суставах биокинематической цепи позволяет конечным звеньям двигаться поступательно (кисть боксера при вращательных движениях в плечевом и локтевом суставах; туловище бегуна при отталкивании ногой). Пример

движений **возвратно-поступательного характера** – работа пилой, напильником.

В шаровидных суставах возможно **круговое движение**, когда продольная ось звена описывает коническую поверхность. Только оно и может выполняться без обязательных возвратных движений.

Исключительное богатство двигательного аппарата человека степенями свободы движений дает бесчисленное множество возможных траекторий всех звеньев тела, но только малая часть из них вызвана потребностями деятельности человека.

Эти движения сформировались в процессе эволюции. Они оказывают влияние на формирование опорно-двигательного аппарата. Наименее строго определены бытовые движения. Во многих видах труда требования более точны. В физических упражнениях их определенность специально установлена. Больше всего разработаны требования к движениям в спорте. Как правило, это движения, при которых наиболее целесообразно используются законы биомеханики, физиологии и других наук (рациональные движения), это самые экономичные движения.

2. ДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ В ДВИЖЕНИЯХ ЧЕЛОВЕКА

Действие сил на биокинематические цепи. Силы, приложенные к звеньям тела человека, имеют различное значение (рисунок 21).

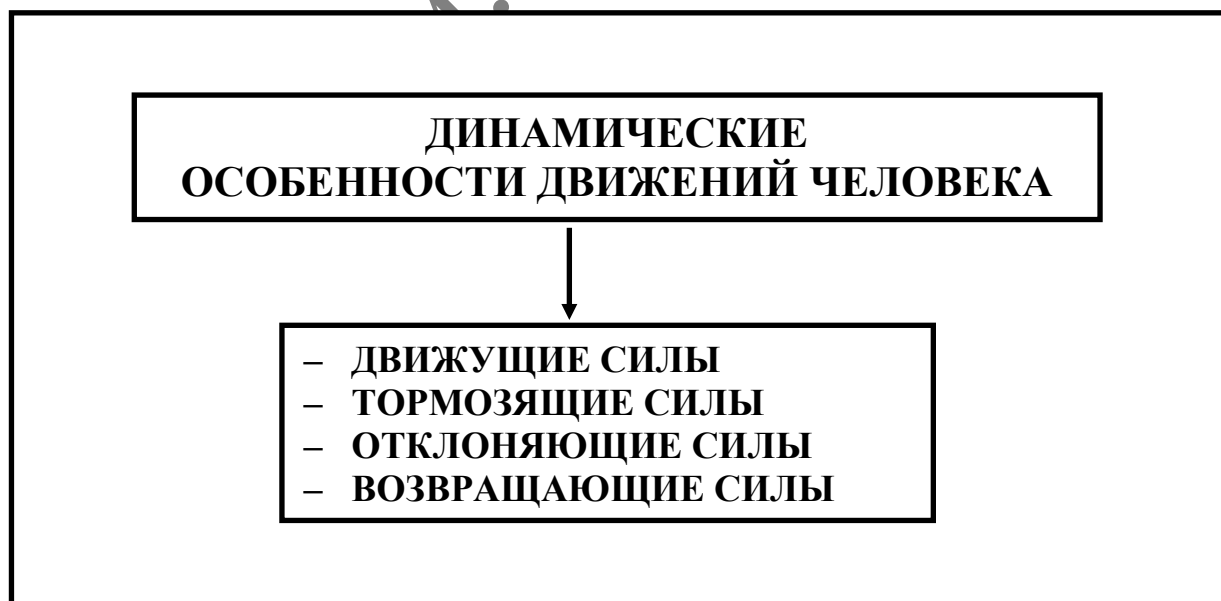


Рисунок 21 – Динамические особенности движений человека

В зависимости от того, как направлены силы относительно скорости движущегося тела, различают:

- **движущие силы**, которые совпадают с направлением скорости (попутные) или образуют с ними острый угол и могут совершать положительную работу;

- **тормозящие силы**, которые направлены противоположно направлению скорости (встречные) или образуют с ним тупой угол и могут совершать отрицательную работу;

- **отклоняющие силы**, перпендикулярные направлению скорости и увеличивающие кривизну траектории;

- **возвращающие силы**, также перпендикулярные направлению движения, но уменьшающие кривизну траектории.

Обе последние группы сил величину тангенциальной (касательной) скорости не изменяют. От соотношения сил, приложенных к каждому звену тела, зависит и результат их действия.

Тормозящие силы имеются всегда. Если движущие силы больше тормозящих, то их разность – ускоряющая сила – обуславливает увеличение скорости, сообщает телу положительное ускорение. Если нет движущих сил (у них нулевая величина – движение по инерции) или они меньше тормозящих, то упомянутая выше разность – замедляющая сила – уменьшает скорость, обуславливает отрицательное ускорение (замедление). От соотношения отклоняющих и возвращающих сил зависит действие поворачивающей силы, изменяющей кривизну траектории. С уменьшением поворачивающей силы траектория выпрямляется, приближаясь к прямолинейной.

Решение задач в теоретической механике характеризуется тем, что стараются все множество сил, приложенных к телу, заменить равнодействующей, если это невозможно – главным вектором (т. е. силой, обуславливающей поступательное движение) и главным моментом (обуславливающим вращательное движение). Для биомеханической системы этот способ решения задачи в качестве основного неприемлем.

Во-первых, тело человека – самодвижущаяся система, в которой передача движения от звена к звену неоднозначна. Следовательно, надо разбирать силы, определяющие движение в каждом звене. Во-вторых, у самодвижущихся систем силы, приложенные ко многим подвижным звеньям, нельзя заменить равнодействующими: каждое звено движется под действием именно к нему приложенных сил. При этом не следует отбрасывать действие противоположно направленных сил, поскольку в биомеханике особенно важна роль каждой силы, ее вклад в движение, задачи совершенствования ее использования.

Кроме того, при решении задач в механике стараются отбросить внутренние для системы силы: их трудно определять, к тому же они попарно уравниваются. В биомеханическом же разборе движений как раз внутренние силы наиболее интересны. Именно они выполняют работу по передвижению самодвижущейся системы тела человека, именно они служат главными управляющими силами.

Силы, приложенные к звеньям тела, создают относительно осей суставов моменты. Действие их, как и самих сил, – ускоряющее, замедляющее, поворачивающее. Именно действие этих моментов сил и вызывает изменение положений тела и изменение движений.

Действие сил вызывает изменение движений. Необходимо только напомнить, что не вся движущая сила обуславливает ускорение, а только ее избыток над тормозящей силой, т. е. ускоряющая сила. Значит, не вся движущая сила совершает работу по передвижению звеньев. Значительная часть работы переходит в механическую энергию деформации и, кроме того, в немеханические формы энергии (прежде всего в тепловую).

В настоящее время невозможно точно определить в любой момент движения напряжение любой мышцы. Даже если бы это было возможно, то все равно исключительно сложно рассчитать взаимодействие всех мышечных тяг, учесть все другие внешние и особенно внутренние силы. Поэтому при биомеханическом разборе движений особенно важно *глубоко понимать физическую сущность действия сил на биокинематические цепи.*

3. СИЛЫ В ДВИЖЕНИЯХ ЧЕЛОВЕКА

Все силы, которые приложены к телу человека, делят на **внешние и внутренние** относительно него.

Внешние силы вызваны действием внешних для человека тел (опора, снаряды, другие люди, среда и т. п.). Только при их наличии возможно изменение траектории и скорости ЦМ; без них движение ЦМ не изменяется. **Силы внутренние** относительно тела возникают при взаимодействии частей тела человека друг с другом. Сами по себе они не могут изменить движения ЦМ, не могут привести все части системы в одинаковые движения. Но только внутренними силами тяги мышц человек управляет непосредственно, вызывая движения звеньев в суставах.

Разделение сил, приложенных к телу человека, на внешние и внутренние **относительно**. Всегда надо ставить вопрос: по отношению к какому телу или какой системе тел делается это разделение?

В биомеханике такой системой, естественно, считают тело человека. Но иногда бывает целесообразно расширить систему (например, велосипедист – велосипед) или ограничить ее (например, тело прыгуна в

воду рассматривают как две связанные подсистемы – верхнюю и нижнюю половины тела по весу; тяги мышц, соединяющих эти подсистемы, можно рассматривать как внешние для них силы) (рисунок 22).

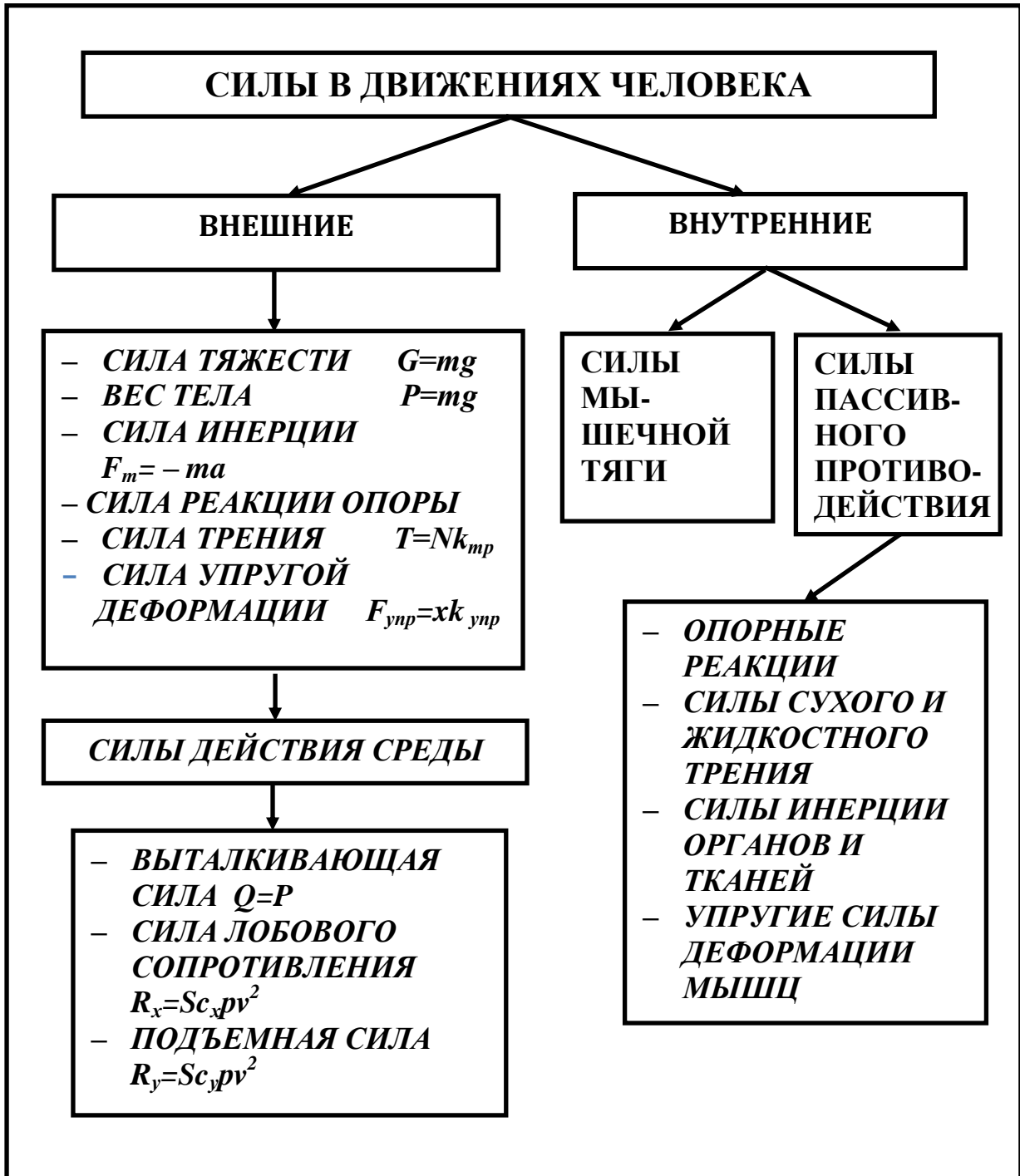


Рисунок 22 – Силы в движениях человека

Все силы, которые действуют извне на тело человека, возникая при контакте с соответствующими внешними телами (и средой в том числе), – это **контактные силы**. Лишь силы тяжести могут действовать на тело человека без контакта, на расстоянии (**дистантные силы**).

3.1 СИЛЫ ВНЕШНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНО ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Силы инерции внешних тел. Внешние силы изменяют движения человека, вызывают ускорения – тогда-то и возникают силы инерции.

***Сила инерции внешнего тела (реальная)** – это мера действия на тело человека со стороны внешнего тела, ускоряемого человеком; она равна массе ускоряемого тела, умноженной на его ускорение: $F_{ин} = -ma$.*

Сила инерции внешнего тела при его ускорении человеком направлена в сторону, противоположную ускорению. Она приложена в месте контакта с ускоряемым телом, в рабочей точке тела человека.

Ускорение может быть **положительным**; человек увеличивает скорость, например, ядра, толкая его от себя. Тогда сила инерции ядра воспринимается как сопротивление. Ускорение может быть **отрицательным**; человек уменьшает скорость, например, набивного мяча, когда ловит его движением «на себя». Тогда сила инерции мяча воспринимается как его напор. Если же ускорение **нормальное** (центростремительное), человек удерживает, например, диск при его разгоне по криволинейной траектории, тогда центробежная сила инерции диска приложена к руке метателя и воспринимается как тяга – стремление диска вырваться из руки по радиусу.

Во вращательном движении может проявиться еще сила инерции **тангенциальная** (например, если метатель ускоряет движение руки с диском по кривой). Эта сила направлена по касательной противоположно ускоряющей силе. В таком случае можно определить и полную **силу инерции** (как геометрическую сумму тангенциальной вставляющей при угловом ускорении) и нормальной, при центростремительном ускорении).

До сих пор рассматривалась реальная сила инерции внешних тел, когда использовалась инерциальная (неподвижная) система отчета. В этих случаях сила инерции ускоряемого тела (ядра, мяча, диска) была вызвана ускоряющим телом (человеком). Сила инерции (реальная) – неуравновешивающее противодействие ускоряемого внешнего тела (по третьему закону Ньютона).

Иногда используют неинерциальную («ускоряющуюся») систему отчета, в которой законы Ньютона не применимы. В этих случаях вводят «фиктивную» силу инерции, что позволяет в расчетах применить законы Ньютона. Она имеет такую же величину (масса, умноженная на ускорение)

и направлена так же (в сторону, противоположную ускорению неинерциальной системы), как реальная сила инерции. Но точкой приложения «фиктивной» силы инерции считается центр инерции самого ускоряемого тела. Фиктивна здесь не сама сила инерции, а точка ее приложения (центр инерции ядра, мяча, диска вместо рабочей точки тела человека).

Когда автобус быстро набирает скорость, или тормозит, или круто поворачивает, пассажиры испытывают (соответственно) толчок назад, вперед или в сторону, противоположную повороту. С точки зрения неинерциальной системы отсчета (автобус), здесь приложена «фиктивная» сила инерции (встречная, или попутная, или центробежная). С точки зрения инерциальной системы отсчета (Земля, если не учитывать ничтожно малого для этого случая влияния ее вращения) автобус изменяет скорость, а пассажиры некоторое время еще продолжают прежнее движение. Как же понимать это явление?» Явление одно и то же, только описания его в разных системах отсчета различны. Рассматривая силы инерции, всегда надо определять, силы инерции какого тела, в какой системе отсчета и к какому телу приложены.

В механике нередко силами инерции называют только «фиктивные» силы инерции в неинерциальных системах отсчета, и это, в принципе, вполне обоснованно. Однако в биомеханическом исследовании движений человека, в которых почти всегда есть ускорения, целесообразно рассматривать также и реальные силы инерции как неуравновешивающее противодействие при ускорении.

Силы упругой деформации. Все реальные тела под действием приложенных сил деформируются. Силы, возникающие в теле, противодействующие деформации и после нее восстанавливающие форму тела, называют упругими.

Сила упругой деформации – это мера действия деформированного тела на другие тела, вызывающие эту деформацию. Упругие силы зависят от свойств деформированного тела, а также вида и величины: $F_{упр.} = kx_{упр.}$

Спортсмен сжимает динамометр, растягивает эспандер, изгибает во время наскока упругий трамплин или батут; в них при деформации возникают упругие силы. Нарастая, они останавливают деформацию. Спортсмен совершил работу, передал энергию деформированным внешним телам (потенциальная энергия упругой деформации). Далее прекращается действие деформирующей силы, и потенциальная энергия упругой деформации переходит в кинетическую энергию. Как восстанавливают форму динамометр и эспандер, спортсмену безразлично, а вот восстановление формы упругого трамплина или батута передает

кинетическую энергию телу спортсмена, и он выпрыгивает выше, чем с пола. Упругие силы деформированного трамплина или батута совершают положительную работу.

Искусственные покрытия мест занятий обладают определенной жесткостью, что позволяет использовать силы упругой деформации при амортизации и отталкивании.

Силы тяжести и вес. По закону всемирного тяготения все тела на Земле испытывают силу ее притяжения.

Сила тяжести тела – это мера его притяжения к Земле (с учетом влияния вращения Земли): $G = mg$.

Сила тяжести зависит от масс Земли и притягиваемого ею тела, а также от расстояния между ними. Расстояние от центра Земли до ее поверхности на полюсе меньше (6357 км), а на экваторе больше (6378 км), поэтому сила тяготения на экваторе на 0,2% меньше, чем на полюсах. Так как Земля вращается вокруг своей оси, тела на ее поверхности испытывают действие центробежной силы инерции (фиктивной) в неинерционной (вращающейся) системе отсчета. Она больше всего на экваторе и уменьшает там силу тяготения еще на 0,3% (по сравнению с положением на полюсах). Поэтому сила тяжести равна геометрической сумме сил тяготения (гравитационной) и центробежной (инерционной)

Когда тело покоится на опоре (или подвешено), сила тяжести, приложенная к телу, прижимает его к опоре (или отрывает от подвеса). Это действие тела на опору (нижнюю или верхнюю) измеряется весом тела.

Вес тела (статический) – это мера воздействия тела в покое на покоящуюся же опору (или подвес), мешающую его падению: $P=mg$. Значит, сила тяжести и вес тела не одна и та же сила. Вес всего тела человека приложен не к нему самому, а к его опоре (сила тяжести – дистантная, вес – контактная сила). В фазе полета в беге веса нет, это случай невесомости.

При воздействии головы на шейные позвонки взаимодействуют голова и позвоночный столб. Таким образом, вес головы относительно всего тела человека – сила внутренняя, относительно же позвоночного столба – внешняя. Вес, например, штанги, удерживаемой человеком, для него, конечно, внешняя сила.

При движении тела с ускорением, направленным по вертикали, возникает вертикальная сила инерции. Она направлена в сторону, противоположную ускорению. Если сила инерции направлена вниз, то она складывается со статическим весом; сила давления на опору при этом увеличивается. Если же сила инерции направлена вверх, то она вычитается из статического веса; сила давления на опору уменьшается. В обоих случаях измененный вес называют динамическим, он больше или меньше

статического. Динамический вес штанги в руках спортсмена действует на него извне (внешняя сила). Динамический вес туловища при выпрыгивании вверх действует на ноги внутри тела (внутренняя сила относительно всего тела и внешняя – относительно ног).

Силы реакции опоры. Действие веса тела на опору встречает противодействие, которое называют реакцией опоры (или опорной реакцией).

Реакция опоры – это мера противодействия опоры действию на нее тела, находящегося с ней в контакте (в покое или движении). Она равна силе действия тела на опору, направлена в противоположную сторону и приложена к этому телу.

Обычно человек, находясь на горизонтальной опоре, испытывает противодействие своему весу. В этом случае опорная реакция, как и вес тела, направлена перпендикулярно к опоре. Это **нормальная** (или [идеальная) реакция опоры. Если поверхность не плоская, то опорная реакция перпендикулярна к плоскости, касательной к точке опоры.

Когда вес статический, то реакция опоры **статическая**; по величине она равна статическому весу. Если человек на опоре движется с ускорением, направленным вверх, то к статическому весу добавляется сила инерции и возникает **динамическая реакция опоры**. Реакция опоры – **сила пассивная** (реактивная). Она не может сама по себе вызвать положительные ускорения. Но без нее – если нет опоры, если не от чего оттолкнуться (или не к чему притянуться) – человек не может активно перемещаться.

Если отталкиваться от горизонтальной опоры не прямо вверх, то сила давления на опору будет приложена не под прямым углом к ее поверхности. Тогда реакция опоры также не будет перпендикулярна к поверхности, ее можно разложить на **нормальную и касательную составляющие**. Когда соприкасающиеся поверхности ровные, без выступов, шипов и т. п. (асфальт, подошва ботинка), то касательная составляющая реакции опоры и есть сила трения.

Касательная реакция может быть обусловлена не только трением (как, например, между лыжей и снегом), но и другими взаимодействиями (например, шипы беговых туфель, вонзившиеся в дорожку).

Равнодействующая нормальной и касательной составляющих называется **общей реакцией опоры**. Она только при свободном неподвижном положении над опорой (или под опорой) проходит через ЦМ человека. Во время же движений, отталкивания или амортизации она обычно не проходит через ЦМ, образуя относительно него момент.

Силы действия среды. Спортсмену нередко приходится преодолевать сопротивление воздуха или воды. Среда, в которой движется человек, оказывает свое действие на его тело. Это действие может быть статическим (выталкивающая сила) и динамическим (лобовое сопротивление, нормальная реакция среды).

Выталкивающая сила – это мера действия среды на погруженное в нее тело. Она измеряется весом вытесненного объема жидкости и направлена вверх.

Если выталкивающая сила (Q) больше силы тяжести тела (G), то тело всплывает. Если же сила тяжести тела больше выталкивающей силы, то оно тонет.

Лобовое сопротивление – это сила, с которой среда препятствует движению тела относительно нее. Величина лобового сопротивления (R_x) зависит от площади поперечного сечения тела, его обтекаемости, плотности и вязкости среды, а также относительной скорости тела:

$R_x = S_x C_x \rho v^2$; где S_x - площадь наибольшего поперечного сечения тела (мидель), C_x – коэффициент лобового сопротивления, зависящий от формы тела (обтекаемости) и его ориентации относительно направления движения в среде, ρ – плотность среды (воды – 1000 кг/м^3 , воздуха – $1,3 \text{ кг/м}^3$), v^2 – относительная скорость среды и тела.

Изменяя площадь поперечного сечения тела, можно изменить и действие среды. Так, у лыжника при спуске с горы в высокой стойке эта площадь почти в 3 раза больше, чем в низкой стойке. Значит, сопротивление воздуха при спуске можно изменять почти в 3 раза. Принимая в воде позы с лучшей обтекаемостью, нужно уменьшать сопротивление воды. Как известно, с увеличением скорости передвижения сопротивление воды или воздуха резко увеличивается (примерно пропорционально квадрату скорости).

Нормальная реакция среды (подъемная сила) – это сила, действующая со стороны среды на тело, расположенное под углом к направлению его движения, она зависит от тех же факторов, что и лобовое сопротивление: $R_y = S_n C_y \rho v^2$, где C_y – коэффициент нормальной реакции среды (в полете ее называют подъемной силой).

Нормальная реакция среды при гребке **направлена перпендикулярно** силе лобового сопротивления.

С нормальной реакцией среды как с **подъемной силой** приходится считаться (например, пловцу во время продвижения по дистанции, прыгуну на лыжах с трамплина во время полета в воздухе).

Силы трения. Абсолютно гладких поверхностей опоры практически не существует. Между телом человека и опорой при движении по ней всегда возникает трение.

Сила трения – это мера противодействия движущемуся телу, направленного по касательной к соприкасающимся поверхностям. Сила трения считается равной произведению нормального давления на коэффициент трения: $T = Nk_{тр}$.

Механизм **трения скольжения** объясняют зацеплением неровностей поверхностей скользящих тел друг за друга (механическая теория), а также молекулярным сцеплением, когда гладкие поверхности обеспечивают плотный контакт тел (молекулярная теория). При смазке неровности поверхности «сглаживаются».

Второй вид трения, отличающийся от трения скольжения, проявляется при **качении**, когда точки соприкосновения тел все время сменяются (точки покрышки велосипеда и места его опоры на дорожке). Механизм трения качения объясняют деформацией соприкасающихся тел. Колесо как бы вдавливаются в опору, образуя ямку, через край которой колесу все время приходится перекачиваться.

Третий вид трения проявляется, когда между трущимися поверхностями имеется неподвижная точка. Это **трение верчения** – движение происходит вокруг этой точки. Так, стопа при отталкивании от опоры, если на подошве обуви нет шипов, вращается относительно грунта. У метателя молота на подошве обуви имеется один шип, верчение происходит при повороте вокруг шипа.

Силы трения, направленные навстречу движению, тормозят его. Они вызывают отрицательное ускорение, совершают отрицательную работу. Силы трения, направленные одинаково с движением, не создают положительного ускорения, не совершают положительной работы, а только не дают точке контакта движущегося тела «проскальзывать» назад.

3.2 СИЛЫ ВНУТРЕННИЕ ОТНОСИТЕЛЬНО ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Силы внутренние относительно тела человека возникают вследствие взаимодействия частей биомеханической системы тела. Они проявляются, в частности, как силы **притягивания и отталкивания** внутри тела. В абсолютно твердом теле такие силы взаимно уравновешены, деформации и напряжения не возникают. В теле человека внутренние силы могут действовать **статически**, вызывая только напряжения в деформированных тканях, и **динамически**, вызывая движение звеньев и изменяя позу.

Различают внутренние силы **активного действия** (мышечная работа) и **пассивные механические силы** (пассивного взаимодействия).

Силы мышечной тяги, приложенные к костям скелета, служат источниками энергии движения, сохраняют необходимые позы, управляют движениями, изменяют взаимодействие тела человека с окружающими

физическими объектами (среда, опора, снаряды и другие). Силы мышечной тяги правильно также называть усилиями.

Силы пассивного взаимодействия в отличие от сил мышечной тяги не вызваны непосредственно физиологической активностью, биологическими процессами, хотя в некоторой степени и зависят от них. При наличии опоры звенья тела человека всегда своим весом действуют на удерживающие их соседние звенья. При ускорениях звеньев к статическому весу прибавляются (или вычитаются из него) силы инерции звеньев. Как противодействие статическому и динамическому весу имеются соответствующие реакции опоры. Вследствие упругих деформаций возникают упругие силы, преимущественно в мягких тканях. Имеются и силы трения, обусловленные взаимным смещением органов и тканей в местах их контакта, в суставах, между мышцами, внутри мышц.

Движения звеньев происходят с ускорениями центростремительными (неизбежны при суставных движениях) и тангенциальными (при разгоне звена – положительные, при торможении – отрицательные). Поэтому **силы инерции** имеются при движениях всегда. Это самая многочисленная группа сил внутреннего пассивного взаимодействия, ведущая среди реактивных сил.

Поскольку в любом движении, тормозя звено и останавливая его, растягиваются мышцы-антагонисты, то всегда возникают **упругие силы** (деформация соединительнотканых и мышечных элементов). При больших ускорениях инерционные и упругие силы особенно велики. При так называемой «упругой отдаче» роль этих двух групп сил становится ведущей в движениях.

Таким образом, внутренние силы пассивного (в биологическом смысле) взаимодействия играют роль не только связей, ограничивающих движения; в определенных условиях они используются как движущие силы, повышающие эффективность мышечной работы.

Роль сил в движениях человека. В механике изучаются законы действия механических сил независимо от их источников, их происхождения. В биомеханике же существенно, каковы источники сил и, следовательно, какова «цена» используемой силы для организма человека. Все силы, приложенные к его двигательному аппарату, составляют систему сил внешних и внутренних.

Система внешних сил проявляется чаще как силы сопротивления. Для преодоления сопротивления затрачивается энергия движения и напряжения мышц человека.

Различают рабочие и вредные сопротивления. Преодоление рабочих сопротивлений нередко составляет главную задачу движений человека (например, в преодолении веса штанги и заключается цель движений со

штангой). Вредные сопротивления поглощают положительную работу; они, в принципе, неустранимы (например, силы трения лыж по снегу).

Внешние силы используются человеком в его движениях и как движущие. Для совершения необходимой работы, для преодоления человеком сил сопротивления могут использоваться вес, упругие силы, инерционные и др. Внешние силы являются в этом случае «даровыми» источниками энергии, поскольку человек расходует меньше внутренних запасов энергии мышц.

Человек преодолевает силы сопротивления мышечными силами и соответствующими внешними силами и совершает как бы две части работы: а) работу, направленную на преодоление всех сопротивлений (рабочих и вредных), и б) работу, направленную на сообщение ускорений своему телу и перемещаемым внешним объектам.

В биомеханике **сила действия человека** – это сила воздействия на внешнее физическое окружение, передаваемого через рабочие точки тела. Рабочие точки, соприкасаясь с внешними телами, передают движение (количество движения, а также кинетический момент) и энергию (поступательного и вращательного движения) внешним телам.

Тормозящими силами, входящими в сопротивление, могут быть все внешние и внутренние силы, в том числе и мышечные. Какие из них будут играть роль вредных сопротивлений, зависит от условий конкретного упражнения. Только реактивные силы (силы реакции опоры и трения) не могут быть движущими силами; они всегда остаются сопротивлениями (как вредными, так и рабочими).

Все силы независимо от их источника действуют как механические силы, изменяя механическое движение. Они находятся в единстве, как материальные силы: можно производить (при соблюдении соответствующих условий) их сложение, разложение, приведение и другие операции.

Движения человека представляют собой результат **совместного действия внешних и внутренних сил**. Внешние силы, выражающие воздействие внешней среды, обуславливают многие особенности движений. Внутренние силы, непосредственно управляемые человеком, обеспечивают правильное выполнение заданных движений.

Задачи совершенствования движений, повышения их эффективности в самом общем виде сводятся к повышению результата ускоряющих сил и снижению действия вредных сопротивлений. Это особенно важно в спорте, где все движения направлены на рост спортивного результата.

4. БИОЭНЕРГЕТИКА ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ

В двигательных действиях происходит **превращение** одних видов энергии в другие (химической в механическую и тепловую) и **преобразование** механической энергии (кинетической в потенциальную и наоборот).

Подвод энергии в биомеханическую систему совершается в результате:

а) превращения химической энергии в механическую потенциальную напряженной мышцы,

б) перехода работы внешних сил в кинетическую энергию биомеханической системы и потенциальную энергию деформированных мышц и перемещаемого тела.

Энергия расходуется на:

а) производительную работу;

б) непроизводительные затраты, связанные с ее превращением и рассеянием энергии;

в) преобразование ее при накоплении в растянутой мышце.

Существует, по меньшей мере, **два источника энергии**, используемой в движениях.

Первый источник – запасы химической энергии. Этот источник находится в мышцах, других органах и крови. В мышцах происходят химические реакции и возникает напряжение в сократительных элементах: химическая энергия превращается в механическую – потенциальную энергию упруго деформированных элементов мышц.

Второй источник энергии движений – это механическая энергия внешнего окружения (внешних тел, среды, партнеров и противников). Она передается телу посредством работы внешних сил: а) кинетическая энергия движущихся объектов (например, бросок, выполненный противником в борьбе) и б) потенциальная энергия положения (например, движение вниз (тела)).

Когда человек двигается, он затрачивает кинетическую энергию на передвижение своего тела и движимых им внешних тел (например, метание диска).

Работа против внешних сил идет за счет уменьшения механической энергии тела. с увеличением кинетической энергии внешних тел. Как известно, затраты кинетической энергии бывают **производительными** (на решение двигательной задачи) и **непроизводительными** (против вредных сопротивлений, например сил трения).

Возможны затраты кинетической энергии тела, и на превращение ее в потенциальную (например, движение вверх в висе на перекладине после маятникообразного движения вниз).

При всех изменениях энергии значительная часть ее превращается в **тепловую** и рассеивается. По закону сохранения энергии она **не исчезает**; но механическая энергия, превращаясь в тепловую, **теряется** в процессе механической работы. Из затрат механической энергии не более 1/4 идет на механическую работу (к. п. д. 20–25%).

Энергетика возвратных движений.

Возвратные движения включают фазу прямого движения (с торможением) – **подготовительную** и фазу обратного движения (с разгоном) – **рабочую**, которые разделены критической точкой на траектории.

Эффективность **рабочей фазы** зависит от исходного положения звеньев в критической точке и состояния деформации и напряжения ведущих антагонистических групп мышц.

Возвратные движения характеризуются сменой направления движения на противоположное (туда–обратно). Обычно и прямое, и обратное движения состоят каждое из двух фаз:

- а) **прямое** – разгона и торможения,
- б) **возвратное** – вновь разгона и торможения.

Из названных четырех фаз первая и последняя могут значительно изменяться и не составляют типичной картины возвратного движения. Зато торможение прямого и разгон возвратного движений – характерные фазы возвратного движения. Между ними имеется **критическая точка** – положение, из которого происходит смена направления скорости. Это положение может быть мгновенным (промежуточным в движении); возможна также остановка в этом положении.

Сначала рассмотрим возвратное движение **без паузы в критической точке** траектории. Торможение совершается при уступающей работе антагонистов. Возникающие при отрицательном ускорении силы инерции совершают работу против упругих сил деформации мышц. Возникающие в мышцах упругие силы играют роль останавливающих деформацию. К критической точке скорость падает до нуля, кинетическая энергия израсходована на работу против упругих сил.

Теперь начинается обратное движение. Здесь возможны два случая:

- а) торможение движения совершалось благодаря активной работе мышц с затратой превращенной химической энергии;
- б) тормозили только упругие (параллельный компонент) элементы мышцы без затраты химической энергии.

В начинающемся обратном движении больше или меньше используется энергия упруго деформированных мышц; упругие силы восстанавливают длину растянутых мышц. Так обычно исполняют подготовительные и основные движения (подседание – отталкивание, замах – удар и др.).

Если возвратное движение происходит с паузой в критической точке, то за время паузы не сохраняется полностью потенциальная упругая энергия, мышцы могут расслабиться (релаксация), и отталкивание (или удар) получается намного слабее. Нередко возможно и рационально делать возвратное движение, используя криволинейную траекторию. Замах тогда переходит в удар (например, в теннисе) без остановки в движении по кривой, с переключением активности с одних мышц на другие.

Энергетически наиболее целесообразно тормозить звено упругими силами, чтобы лучше использовать «упругую отдачу» мышц. Необходимо только, чтобы растягивание тормозящих мышц делали внешние силы (например, сила тяжести и сила инерции тела в тройном прыжке). Тогда будут использованы «даровые» силы, сэкономится энергия мышечного сокращения. При возвратном же движении максимальное напряжение движущих мышц включает и активные силы мышечного сокращения и накопленные при подготовке упругие силы.

В критической точке положение звеньев (исходная поза) определяет возможные направление и размах движений, силу тяги групп мышц, тормозящих прямое и ускоряющих обратное движения, а также их антагонистов. Последние не должны ни тянуть звено в конце прямого движения, ни тормозить его в начале обратного. В рациональных возвратных движениях они возможно полно расслаблены.

Энергетически целесообразно тормозить звено не включая сократительные элементы; растягивать мышцы только внешними силами; включать сократительные элементы в критической точке; поддерживать активное сокращение только в фазе разгона обратного движения. Таковы отличительные особенности рационального построения скоростно-силового возвратного движения в спорте. В медленных возвратных движениях такой схемы обычно нет.

Режим колебательных движений. Рациональный режим колебательных движений включает упругую отдачу мышц в сочетании с сохранением и накоплением энергии в мышцах.

В так называемых **циклических движениях**, где многократно повторяется одинаковый ряд движений, часто используется **колебательный режим**. Для него характерна многократная смена повторяются **возвратных движений** (например, движения ног при беге).

В каждом цикле колебательных движений имеются **потери энергии**. Если их не восполнять, то колебания становятся **затухающими**. Если потери восполнять полностью, то колебания становятся **постоянными**, устанавливается стабильный колебательный режим.

Если в каждом цикле своевременно подводить энергии больше, чем ее теряется, возникает **резонансный режим**. Мышца, работающая в резонансном режиме, с каждым циклом получает добавочную энергию и таким образом накапливает ее.

Подвод энергии совершают сократительные элементы мышцы в критических точках траектории. Тогда каждый новый цикл происходит на более высоком уровне энергии; увеличение кинетической энергии означает повышение скорости. На цикл затрачивается меньше времени, растет темп. Таким образом, например, в беге становится больше скорость продвижения по дорожке. В разбеге благодаря резонансному накоплению энергии повышается мощность.

Подобная схема характерна лишь для мышц с расположением волокон под углом к продольной оси мышцы (перистых, веерообразных). Такие мышцы обеспечивают движения в суставах ног, обуславливая большую роль упругой отдачи.

Подобные мышцы обладают и большей силой, так как в них суммируются усилия многочисленных волокон. У них велика и скорость укорочения всей мышцы. Это быстрые и сильные мышцы с большими возможностями накопления энергии при значительном растягивании их волокон. Последнее свойство характерно только для косоволокнистых мышц, среди скелетных мышц человека они составляют большую часть.

Для лучшего использования мышечной энергии в скоростно-силовых движениях целесообразно:

- 1) волокна мышцы в подготовительной фазе значительно растянуть (зона больших деформаций в косоволокнистых мышцах);
- 2) при растягивании волокон передать им больше кинетической энергии (разогнать звено до большой скорости и резко остановить);
- 3) в обратном движении в критической точке своевременно совершить активное сокращение мышцы по принципу автоколебаний, наиболее акцентированное с самого начала («взрывная» сила).

Совершенствование скоростно-силовых движений, характерных для спортивной техники в одиночных возвратных движениях и в циклических колебательных движениях, имеет много общего. В основе его лежит перестройка биоэнергетики; изменение вклада энергии из разных источников, изменение организации управления энергетикой. Это одно из самых характерных отличий совершенствования биосистем от совершенствования технических механизмов.

Мышца в этом отношении **имеет много функций:**

- 1) генератор механической энергии из химической;
- 2) трансформатор механической энергии (из потенциальной в кинетическую и обратно);
- 3) аккумулятор упругой энергии в мышце (в резонансном режиме);
- 4) движитель, передающий механические усилия звеньям тела;
- 5) фиксатор звеньев в суставах (при опорных тягах);
- 6) регулятор величины и направления скорости (в биодинамически полносвязном механизме);
- 7) демпфер, поглощающий и рассеивающий энергию (при погашающей амортизации);
- 8) упругий амортизатор (создающий обратное движение в возвратном и колебательном режиме).
- 9) рецептор (сигнализирует своими органами чувств (проприорецепторами) о положениях и движениях, без чего невозможно полноценное управление ими). Превращая химическую и механическую энергию в тепловую (и рассеивая ее), мышца еще участвует и в терморегуляции тела.

5. БИОМЕХАНИКА ДЫХАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ

В основе биомеханики дыхания лежат периодические изменения объема грудной полости – увеличение при вдохе и уменьшение при выдохе. Внутригрудное давление при вдохе вследствие увеличения объема грудной полости становится меньше атмосферного, легкие растягиваются, их объем увеличивается – в них поступает атмосферный воздух. Объем грудной полости возрастает за счет движения грудины и ребер и, самое главное, – уплощения диафрагмы.

Вдох обеспечивается активностью дыхательных мышц, главной из которых является диафрагма. **Выдох** в покое происходит пассивно за счет упругих сил. Главную роль играют эластичные свойства легких. При напряженной физической работе выдох происходит активно за счет мышц брюшного пресса (главным образом косых мышц и поперечной мышцы живота, в меньшей степени – прямой мышцы живота). При выдохе повышается внутрибрюшное давление, из-за чего диафрагма принимает сферически выпуклую форму, оставаясь расслабленной.

Правильное сочетание дыхательных движений с движениями тела или отдельных его звеньев является существенной стороной спортивной техники во многих видах спорта (например, в плавании). Постановка правильного дыхания вообще одна из частных оздоровительных задач физического воспитания.

Существуют **три основных типа дыхания: грудное, диафрагмальное и смешанное**. Наиболее рациональное – смешанное дыхание. Для проверки типа дыхания можно воспользоваться следующим простым приемом: положить одну руку на переднюю стенку живота, другую на грудную клетку. При смешанном дыхании в начале вдоха несколько выпячивается живот, затем вдох продолжается за счет подъема грудной клетки.

При выполнении физических упражнений существуют **два основных способа сочетания фаз дыхания с движениями**:

1) **«анатомический»**: при движениях, которые способствуют увеличению объема грудной клетки, – вдох, а уменьшению – выдох. Например, при выпрямлении туловища, поднимании и отведении рук, разгибании ног – вдох; при наклоне туловища, приведении рук, сгибании ног – выдох;

2) **«биомеханический»**: выдох сочетается с фазами движений, в которых спортсмен проявляет наибольшую силу действия, вдох – с фазами относительного расслабления. Например, в академической гребле выдох производят во время гребка, а вдох – при проносе весла, хотя по анатомическим соображениям надо было бы делать наоборот.

Самая большая мышечная сила проявляется при **натуживании**, несколько меньшая – при выдохе, еще меньшая – при вдохе. Это объясняется, во-первых, рефлекторным повышением функционального состояния скелетных мышц при раздражении рецепторов легких (так называемым пневмомускульным рефлексом); во-вторых, повышением внутрибрюшного давления при натуживании за счет активности брюшного пресса, что в некоторых движениях (например, подъем тяжелого груза с земли) довольно значительно (на 8–10%) уменьшает нагрузку, приходящуюся на длинные мышцы спины.

Если силовые упражнения делаются с натуживанием (т. е. с напряжением мышц, обеспечивающих выдох, но при закрытой голосовой щели), то перед их выполнением не надо делать глубокого вдоха, так как это неоправданно увеличит внутригрудное давление.

При напряженной физической работе, когда надо **обеспечить максимальную легочную вентиляцию**, правильным является частое, достаточно глубокое дыхание через рот. При редком дыхании и дыхании через нос не удастся достичь предельных величин вентиляции легких. **При дыхании следует акцентировать выдох, а не вдох**. Тогда поступающий в легкие богатый кислородом воздух будет смешиваться с меньшим количеством остаточного и резервного воздуха, в котором содержание O_2 значительно ниже, а содержание CO_2 выше, чем в атмосферном.

ТЕМА 1.6 ДВИГАТЕЛЬНЫЕ ДЕЙСТВИЯ КАК СИСТЕМЫ ДВИЖЕНИЙ

1. ПОНЯТИЕ О ДВИГАТЕЛЬНОМ ДЕЙСТВИИ КАК СИСТЕМЕ ДВИЖЕНИЙ
2. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОБРАЗУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
3. ВРЕМЕННЫЕ ОБРАЗУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
4. ДИНАМИЧЕСКИЕ ОБРАЗУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

1. ПОНЯТИЕ О ДВИГАТЕЛЬНОМ ДЕЙСТВИИ КАК СИСТЕМЕ ДВИЖЕНИЙ

С позиции системно-структурного подхода и теории структурности биомеханика рассматривает двигательные действия как системы, состоящие из подсистем низшего порядка. Система в целом и ее подсистемы имеют свои структуры.

В двигательных действиях как системах выделяют **пространственные, временные и динамические образующие** элементы, представляющие собой **состав** системы, ее сопоставляющие части, а также системообразующие связи, которые отражают взаимодействие и субординации (соподчиненность) образующих систему элементов. Системообразующие связи составляют структуру системы.

Образующие элементы системы движений в двигательном действии обеспечивают решение определенной двигательной задачи и имеют свои отличительные особенности – характеристики и их меры.

В *системе движений* пространственные, временные и динамические элементы объединяются в подсистемы высшего порядка и системы.

2. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОБРАЗУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Пространственные образующие элементы - это положения тела, позы и суставные движения, которые обеспечивают решение простой двигательной задачи.

Положения тела определяют по взаимному расположению линии отсчета, проведенной на теле (линия, соединяющая проекции головок плечевой и тазобедренной костей), и осей системы прямоугольных

координат в инерциальной системе отсчета, т. е. по отношению к линии горизонта.

Положения тела разделяют на **вертикальные**: стойки (основная на лопатках, на голове и руках), висы и упоры; **горизонтальные** (лежа на животе, на спине горизонтальные равновесия); **наклонные** (упор лежа сзади, наклонный выпад и др.).

Позу тела определяют по взаимному расположению его биозвеньев относительно друг друга в соматической системе отсчета.

Различают позы: прогнувшись; согнувшись; в группировке; широкая стойка ноги врозь; выпад с наклоном; основная стойка руки в стороны, вперед, на пояс и др.

Некоторые физические упражнения выполняются без изменения положения и позы при произвольном сохранении неподвижного состояния тела в соматической системе отсчета (стойка в прямолинейном движении при спусках на лыжах, равновесия, положение тела при спрыгивании с высоты и др.).

При исполнении большинства физических упражнений положение тела и позы непрерывно изменяются. При этом могут изменяться:

- только положения при сохранении заданной позы (прямое тело при махе назад на перекладине, сохранение группировки при исполнении серии акробатических кувырков и др.);

- изменяется только поза при сохранении положения (приседание и вставание, ходьба, равномерный бег по прямой и др.);

- изменяются и положения и позы (исполнение длинного кувырка; прыжок в высоту способами перекаат, перекидной; подъем разгибом на брусках; стартовый разгон и др.);

- не изменяться ни положения ни позы (статические упражнения).

Суставные движения – это простые движения двух биозвеньев относительно друг друга в одном суставе, направленные на решение простой двигательной задачи (рисунок 23).

Движения в суставах ограничены суставными сумками, связками, сухожилиями, мышцами и происходят по дугам окружностей вокруг суставных осей. Поэтому в каждом суставе количество простых двигательных задач, решаемых суставными движениями, зависит от количества степеней свободы движений.

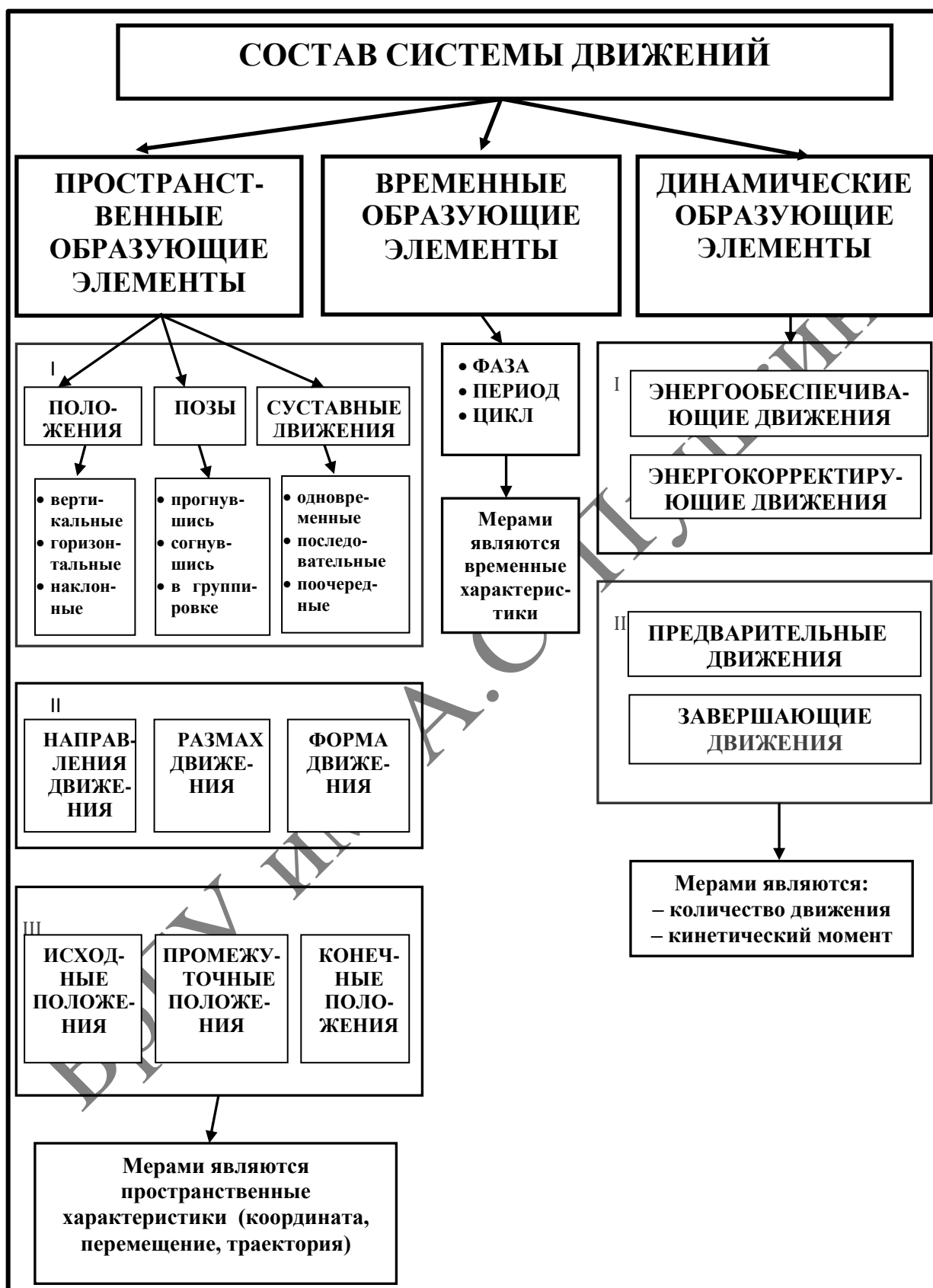


Рисунок 23 – Состав системы движений

В одноосных суставах (межфаланговые) с одной степенью свободы происходит сгибание и разгибание; в двуосных (лучезапястный, локтевой, голеностопный, коленный) с двумя степенями свободы возможны сгибание и разгибание, отведение и приведение, пронация и супинация; в трехосных суставах (плечевой, тазобедренный) с тремя степенями свободы решаются задачи сгибания и разгибания, отведения и приведения, пронации и супинации или исполнения круговых движений.

Пространственные образующие элементы объединяются в пространственные подсистемы высшего порядка, что положительно сказывается на возможности людей совершать различные движения. Так в двигательной деятельности человека суставные движения объединяются в группы одновременных, ряды последовательных и поочередных движений. Благодаря этому объединению количество степеней свободы биозвеньев тела увеличивается и этим обеспечивается возможность решения любых двигательных задач.

Одновременные движения используются в разных суставах в одно и то же время. Например, движение в суставах маховой ноги и рук при отталкивании в прыжках в длину с разбега.

Последовательные движения характеризуются тем, что исполнение последующего движения биозвеньев в одних суставах начинается тогда, когда предыдущие движения биозвеньев в других суставах еще не закончены. Например, для создания непрерывной тяги при плавании кролем, гребковые движения руками исполняются последовательно, "наслаиваясь" одно на другое.

Поочередные движения происходят в разных суставах, следуют поочередно одно за другим. Например, при исполнении подъема разгибом на брусьях, разгибание в тазобедренных суставах из положения упора на руках согнувшись, притормаживание ног и разгибание рук в плечевых суставах при выходе в упор происходят поочередно.

Исходные положения обеспечивают выгодные механические условия для результативности последующих движений. Так, низкий старт спринтера способствует рациональному использованию «взрывной силы» в стартовом разбеге; стойка баскетболиста при исполнении штрафного броска влияет на точность попадания мяча в корзину. Изменения и.п. изменяют условия развития двигательных качеств занимающихся. Кроме этого и. п. отражают оперативную готовность к действиям.

Промежуточные положения существенно влияют на результат действия. Например, горизонтальное положение туловища при перемещении на лыжах при встречном ветре уменьшает лобовое сопротивление и способствует быстрому продвижению вперед.

Конечные положения определяют результат двигательного действия, завершают движения, оканчивающихся остановкой тела. Например, при выполнении приземления в опорных прыжках. Окончание бега определяют положением тела бегуна, при котором он пересекает линию финиша.

Направление движения – пространственная ориентация поступательного или вращательного движения. Для того, чтобы выполнить двигательное действие важно правильно установить направление движения тела и его биозвеньев. Можно ориентировать занимающихся на внешние предметы, обеспечивающие предметную нацеленность на результат действия. Направления движения биозвеньев определяют по направлению начального движения из исходного положения. Например, направление движений руками вперед, назад, в стороны, вверх определяют по направлению начального движения из и. п. по отношению к туловищу, независимо от его ориентации в инерциальной системе отсчёта.

Размах движения – угловое перемещение тела или системы тел в одном направлении от одного крайнего положения до другого в колебательном движении. Размах движения биозвеньев тела относительно осей суставов (позвонков относительно друг друга) характеризует подвижность взаимосвязанных тел. Она зависит от строения суставной сумки, длины и эластичности связок и сухожилий, количества и согласованности работы мышц, участвующих в движении. Подвижность сменных биозвеньев в каждом суставе обуславливает гибкость всей системы подвижно взаимосвязанных биозвеньев (руки, ноги, позвоночный столб).

Форма движения – пространственный рисунок движения. Его определяют по форме траекторий точек тела и его биозвеньев. Траектории точек могут быть **прямолинейными и криволинейными**. Суставные движения человека всегда криволинейны. Поэтому и траектории точек подвижных звеньев тела человека тоже криволинейны. Но человек за счет согласования движений в ряде суставов, суммирования степеней свободы из определённых дуг движения в каждом суставе производит любую траекторию концевым биозвеном незамкнутой биокинематической цепи. Так движением кисти или стопой можно получить любую прямую, либо ломаную, либо кривую траекторию любой формы. Траектории движений кистью более точны и разнообразны, чем стопой. Форма движения в двигательной деятельности человека изменяется непрерывно и зависит от многих факторов.

Биомеханическая оценка пространственных образующих элементов может быть качественной и количественной.

Качественная оценка не имеет качественной меры. **Местоположения тела** человека, его исходные и конечные положения определяют по расположению относительно других тел: опора спереди – упор стоя, лёжа; опора сзади – упор сидя или лёжа сзади; опора вверху – вис, вис на одной; опора внизу – стойка, сед, стартовое положение.

Взаимное расположение биозвеньев тела определяют, как: согнувшись, прогнувшись, в выпаде, в группировке, согнув ноги. **Расположение ног и рук** по отношению к туловищу определяют, как: вперед, вверх, назад, вниз, в стороны.

Величину пути, пройденного телом из и.п. в конечное, а также между промежуточными положениями определяют понятиями: дальше, ближе, уже, шире, короче, длиннее, больше, меньше.

Количественная оценка осуществляется количественными мерами: **при поступательных** движениях (прямолинейном и криволинейном) в линейных, а **при вращательных** – в угловых единицах измерения.

С возрастанием количества участвующих в двигательной деятельности человека суставных движений, количество степеней, свободы подвижных звеньев его тела может увеличиваться до ста и более. Это обуславливает практически неограниченные двигательные возможности человека.

Мерами пространственных образующих элементов являются **пространственные характеристики** (координата, перемещение, траектория).

3. ВРЕМЕННЫЕ ОБРАЗУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

К *временным образующим элементам* относятся фазы, периоды, циклы.

Фаза – это наименьший временной интервал, обеспечивающий решение определенной двигательной задачи.

Например, при отталкивании прыжка в длину с разбега в фазе амортизации решается задача подготовки к отталкиванию за счет изменения направления скорости и наращивание силы упругой деформации растягивающихся мышц. В фазе отталкивания решается задача сообщения предельного ускорения ОЦМ тела ученика в направлении вылета путем преодоления моментов инерции ускоряемых биозвеньев быстрым сокращением ранее растянутых мышц.

В движениях человека фазы объединяются во временные подсистемы движений: периоды и циклы.

Периоды – это объединения фаз, имеющих общие особенности. Например, периоды опоры и периоды полета при беге, периоды скольжения и стояния лыжи в попеременных ходах, периоды использования потенциальной и накопления кинетической энергии в движении снизу вверх во время исполнения оборотов на перекладине и др.

Цикл – это повторность периодов. Например, повторность периодов одиночной и двойной опоры в ходьбе, опоры и полета в беге и др.

За цикл принимают и одноактные двигательные действия. Например, метание, прыжок, подъем, спад, поворот, оборот и др.

Для оценки временных образующих элементов и подсистем движений в педагогической практике используют меры их измерения: момент времени, длительность движения, темп и ритм.

4. ДИНАМИЧЕСКИЕ ОБРАЗУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Динамические образующие элементы – это движения в пространстве и времени, которые направлены на решения задач накопления механической энергии ускоряемыми биозвеньями, биокинематическими цепями и всем телом человека и ее передачи от одного биозвена к другому, от одной биокинематической цепи к другой и всему телу, а также связанными с ним внешним телом.

По двигательным задачам динамические образующие элементы разделяют на фазы энергообеспечивающих и энергокорректирующих движений.

Энергообеспечивающие движения решают задачу накопления механической энергии биозвеньями, биокинематическими цепями и всем телом человека в биодинамической основе двигательного действия.

Энергокорректирующие движения обеспечивают передачу механической энергии одного биозвена, биокинематической цепи или всего тела другому биозвену, другой биокинематической цепи, всему телу или связанному с ним внешнему телу.

Энергокорректирующие движения проявляются в биодинамической основе (которую они составляют вместе с энергообеспечивающими движениями), а также обуславливают эффективность завершающих движений двигательного действия (цикла, периода).

Мерами взаимодействия энергообеспечивающих и энергокорректирующих движений будут количество движения (в поступающем движении) и кинетический момент (во вращательном движении).

При исполнении энергообеспечивающих движений накопление механической энергии ускоряемыми биозвеньями, биокинематическими

цепями и всем телом происходит при их **положительном ускорении** – «разгоне».

При выполнении **энергокорректирующих движений передача** механической энергии от одних объектов к другим происходит при **отрицательном ускорении** (торможении) биозвеньев, биокинематических цепей и всего тела, обладающих запасом механической энергии. В результате действия энергокорректирующих движений ранее ускоряемые объекты изменяют своё движение.

Для оценки взаимодействия энергообеспечивающих и энергокорректирующих движений используются прямые и косвенные средства информации. К **прямым** средствам относят сообщения о величине развиваемых усилий (сильно, слабо), их длительности (долго, коротко), о своевременности их начала и окончания (раньше, позднее), об изменении величины усилий и др.

При использовании **косвенных** средств информации, например, ставится задача выполнить движение какой-либо частью тела за строго определённое время, бежать с определённой длиной шагов по разметкам в строго заданном темпе, исполнить нападающий удар в волейболе за определённый промежуток времени и др.

В двигательных действиях (кроме биодинамической основы (взаимодействия энергообеспечивающих и энергокорректирующих движений)) выделяют фазы предварительных и завершающих движений.

Предварительные движения способствуют созданию наиболее выгодных условий для исполнения энергообеспечивающих движений. **Завершающие движения** приводят к цели. По ним определяют результат решения основной двигательной задачи.

СЕМИНАРСКОЕ ЗАНЯТИЕ ПО ТЕМЕ 1.6

1. Что такое система движений, ее состав и структура?
2. Раскройте состав системы движений.
3. Каковы отличия видов структуры (кинематическая, динамическая)?
4. Что такое информационная и обобщенная структура двигательного действия?
5. Что такое координация движений человека? Каковы её виды?
6. Охарактеризуйте логическую схему биодинамической структуры.

ТЕМА 1.7 СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ДВИЖЕНИЙ

1. ПОНЯТИЕ О СТРУКТУРЕ СИСТЕМЫ ДВИЖЕНИЙ
2. ВИДЫ СТРУКТУР В СИСТЕМЕ ДВИЖЕНИЙ
3. КООРДИНАЦИЯ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА
4. ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА БИОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

1. ПОНЯТИЕ О СТРУКТУРЕ СИСТЕМЫ ДВИЖЕНИЙ

Структура системы – это наиболее сложившиеся и определяющие закономерности взаимодействий упорядоченных компонентов системы, (подсистем и их элементов). Структура системы определяет течение внутренних процессов, взаимодействие с внешним окружением, появление новых свойств и возможности развития системы.

Элементы в подсистемах, а подсистемы в системе движений находятся во взаимосвязях, которые обуславливают структуру. Взаимодействия внутри каждой подсистемы и между подсистемами не только существуют, но и развиваются.

Внутренние взаимодействия обуславливают целостность системы. Движения в системе согласованы в пространстве и во времени; силы, приложенные к кинематическим цепям тела, находятся в известных соотношениях.

Движения выполняются в соответствии с окружающими условиями. Они складываются под непосредственным влиянием внешних сил и сами в той или иной мере изменяют окружающие условия – это **внешние взаимодействия** системы. Все эти связи и отношения закономерны. Это не значит, что они постоянны - они изменчивы, но изменчивость здесь не хаотическая, не случайная, а закономерная.

Объединенные в систему элементы получают новые свойства. Так, например, из усилий многих мышц складывается общая сила действия человека. Совместное участие мышц в наращивании скорости в биокинематической цепи создает новые скоростные возможности. По мере совершенствования системы движений все больше проявляются ее системные свойства. Каждый элемент в отдельности не обладает такими свойствами. Они проявляются в системе благодаря взаимодействиям в ней.

От того, в каком направлении развиваются взаимодействия в системе, насколько они прочны, насколько они могут приспосабливаться к условиям, от многих других их особенностей зависят возможности дальнейшей перестройки системы - развития системы. Все рассмотренные

здесь особенности взаимодействий в системе движений составляют ее структуру.

2. ВИДЫ СТРУКТУР В СИСТЕМЕ ДВИЖЕНИЙ

При изучении системы движений в первую очередь выявляют структуры, которые отражают форму, характер и причины изменения движения (двигательную), а также обуславливают управление ими (информационную) (рисунок 24). Это **основные** виды структур системы движений. Кроме них выделяют множество других структур, которые отражают разные стороны общей структуры.



Рисунок 24 – Структура системы движений

Двигательная структура – это закономерности взаимосвязи движений в пространстве и времени (кинематическая структура), а также силовых и энергетических взаимодействий (динамическая структура) в системе движений.

По кинематическим характеристикам (пространственным, временным, пространственно-временным) устанавливают **кинематическую структуру**.

Соответственно различают структуры: **пространственные**, раскрывающие форму движений в пространстве, их связи; **временные**, показывающие, как организована во времени система движений; **пространственно-временные** – главные показатели быстроты изменения положения и движения. Каждая из этих структур имеет свое особое, частное, значение; лишь все вместе во взаимосвязи они образуют общую **кинематическую структуру**, т. е. обуславливают внешнюю картину движений в целом.

Динамическая структура – это закономерности силового (динамического) взаимодействия частей тела человека друг с другом и внешними телами (среда, опора, снаряды, партнеры, противники).

Изучая динамические характеристики движений, определяя приложенные силы, инерционные сопротивления, исследуют причины той или иной картины движений. По динамическим характеристикам устанавливают динамическую структуру.

При изучении движений человека различают биостатическую и биодинамическую структуры.

Биостатическая структура характеризуется взаимодействием сил и их моментов при сохранении положения и позы тела на месте и в движении.

Биодинамическая структура отражает взаимодействия ускоряющих, замедляющих и поворотных сил и их моментов, как причин изменения положения и движения тела.

Определяя массы тел и их распределение (инерционные характеристики), а также меры взаимодействия тел (силы и момент силы), можно исследовать силовые взаимодействия. Это значит, что можно определить источники сил, их величину, направление, место приложения, меру их действия (импульс силы и работу), результат их действия.

Когда рассматривают совместное приложение ряда сил к звеньям тела, оценивают их взаимное влияние, эффект совместного воздействия, то определяют **силовую структуру**.

При изучении мышечных сил, их совместного действия, сложных отношений, возникающих внутри групп мышц и между их группами, определяют **анатомическую структуру**. Особое внимание уделяется тому, как посредством мышечных сил согласовать действие остальных сил и использовать их.

Установить динамическую структуру, найти закономерности согласования сил – это значит раскрыть сущность движений под действием сил, т. е. объяснить механизмы движений.

Информационные структуры – это закономерности взаимосвязей между элементами информации (сообщениями об условиях и ходе действия и командами), без которых невозможно управление движениями.

В управлении движениями важнейшую роль играют информационные процессы. В мозг поступают сигналы от органов чувств, к мышцам следуют команды из мозга – все это потоки информации. Они вызваны многими внешними и внутренними раздражителями, в том числе кинематическими и динамическими факторами.

Все потоки информации, взаимодействуя, сочетаются закономерно, образуя сложнейшую информационную структуру движений. Кинематические и динамические структуры сами имеют определенное информационное значение и связаны между собой соответствующими информационными структурами.

Информационная структура – это основные устойчивые закономерности взаимосвязей между элементами информации об условиях (внутренних и внешних), о ходе действия в пространстве и во времени, которые обуславливают управление движениями.

В ней выделяют **сенсорные структуры** – синтезы чувствительных сигналов, переработанные и обобщенные. Они отражают воздействия внешних факторов и внутреннего состояния организма, образуя так называемые «чувства» (осанки, положения, времени, воды, снега, партнера).

Все воздействия, отражаясь в сознании человека, сочетаются со следами в его памяти. Так образуется **психологическая структура** двигательного навыка. В нее входят знания и представления о собственной технике, технике других спортсменов, общих требований к ней и т.п.

Команды, которые мозг направляет мышцам и другим органам, обеспечивающим выполнение движений, составляют **эффекторную структуру**. Она во многом зависит от соотношения произвольного и автоматического управления в системе движений.

Обобщенные структуры – это закономерности взаимосвязей разных сторон действия; обобщенные структуры обусловлены сочетанием разных видов структур (чаще всего ритмических, фазовых и координационных).

Ритмическая структура – это закономерности взаимосвязей движений во времени, соотношение длительностей частей движений, всего двигательного акта или действий. От того, как размещены во времени акценты усилий, зависит скорость и длительность последующих

движений. Части движений различаются по направлению, скорости, ускорению, усилию. Ритмические же соотношения измеряются только показателями времени. Ритмические структуры служат особо отчетливыми показателями совершенства упражнений.

Фазовая структура – это основные закономерности взаимодействия, взаимосвязи фаз, которые определяют целостность системы движений. Зная требования к каждой фазе, устанавливая, как они согласуются между собой, как используются детали движений для общего результата упражнения, можно глубже понять и лучше оценить качество исполнения, лучше определить роль каждой фазы в целом упражнении.

Координационная структура – совокупность всех основных внутренних взаимосвязей в системе движений, а также взаимодействий человека с его внешним окружением во время выполнения упражнения. Таким образом, можно сказать, что координационная структура включает в себя все перечисленные виды структуры движений, внутренние взаимосвязи системы, а также всю внешнюю структуру – совокупность взаимодействий спортсмена с внешним окружением.

Совместное действие сил внутренних и внешних лежит в основе организации взаимодействия человека с внешним окружением. Он управляет этим взаимодействием, создавая единство внутренней и внешней структуры - координационную структуру. Изучая движения без учета их структурных связей, невозможно понять действительную организацию двигательного действия.

Дифференцированные структуры – это закономерности взаимосвязей однородных сторон в основных видах общей структуры системы движений. Их выделяют для более детального изучения основных видов общей структуры.

3. КООРДИНАЦИЯ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА

Координация – это процесс согласования систем обеспечения движений человека в пространстве, времени и по усилиям, приводящий к достижению цели. Координацию рассматривают как результат сложных процессов управления движениями. В биомеханике различают три вида координации: нервную, мышечную и двигательную.

Нервная координация – это процесс согласования эффекторных (команд) и сенсорных (сигналов) нервных процессов, обеспечивающий решение двигательной задачи посредством управления движениями через мышечные тяги в конкретных условиях. Нервную координацию характеризуют системность (стереотипия) и динамичность

(приспособительность), т. е. динамическая стереотипия (по И. П. Павлову) (рисунок 25).

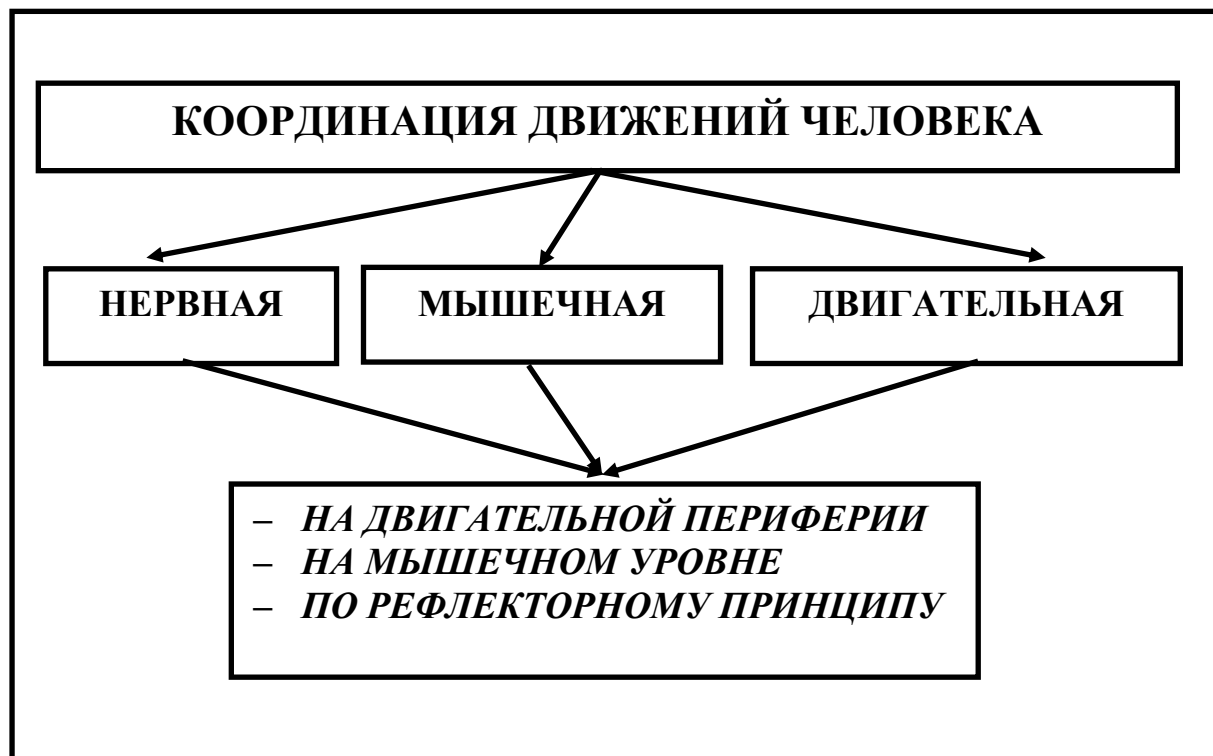


Рисунок 25 – Виды координации

Системность проявляется в формировании относительно постоянных, устойчивых нервных процессов. Сформированные подсистемы управления надолго сохраняются в "памяти" нервной системы. Они проявляются в виде совокупности накопленных двигательных навыков (двигательного опыта, базы).

Динамичность характеризуется изменением подсистем управления» как их способностью приспособляться к конкретным условиям путем перестройки, совершенствования и адаптации (прилаживания). Динамичность не исключает системности, а основывается на ней.

Мышечная координация – это процесс согласования напряжений мышц, оказывающих воздействия на биозвенья тела на основе как команд и сигналов нервной системы, так и под действием приложенных к биозвеньям сил.

Действие мышц и мышечная координация обуславливается нервной координацией, но не однозначно ей, а зависит от множества других причин. В мышечной координации характерно групповое взаимодействие мышц, образование мышечных синергий как подсистем общей системы

взаимодействия мышц. Например, при шагательных движениях обширные группы мышц действуют более или менее однообразными напряжениями, обеспечивая устойчивость навыков ходьбы, бега и других движений. На мышечную координацию существенно влияет наличие многоосных суставов (смена функций мышц) и многосуставных мышц (передаточное действие напряжений мышц на другие суставы).

Крайне важна и внутримышечная координация – согласование элементов мышцы, от которых зависит сила тяги каждой мышцы.

Двигательная координация – это процесс согласования движений биозвеньев тела в пространстве, и времени (одновременно, поочередно, последовательно), а также по усилиям, соответствующий решению определенной двигательной задачи в конкретных условиях (состояние ученика, внешнее окружение). Двигательная координация зависит от нервной и мышечной координации, но не однозначна им.

Координация может осуществляться:

- 1) на двигательной периферии,
- 2) на мышечном уровне,
- 3) по рефлекторному принципу.

На двигательной периферии координация движений осуществляется преимущественно под воздействием внешних сил (сил тяжести, опорных реакций, сил упругой деформации, трения и др.) почти без участия мышечной активности (периферическая саморегуляция).

На мышечном уровне координация движений происходит с использованием упругих сил в группах синергистов во взаимодействии с антагонистами, в биокинематических цепях с участием многосуставных мышц без ведущей роли центральной нервной системы (автономная саморегуляция). Например, ученик поскользнулся, но не упал, а восстановив положение, даже не может объяснить, как он это сделал.

По рефлекторному принципу координация осуществляется в самом сложном и точном приспособлении к конкретным условиям под управляющим воздействием центральной нервной системы.

4. ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА БИОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

В педагогической практике для осознанного понимания учениками двигательной задачи учитель разрабатывает логическую схему биодинамической структуры изучаемого двигательного действия.

Логическая схема биодинамической структуры двигательного действия – это отражение в сознании ученика закономерностей основных определяющих взаимосвязей и взаимодействий между образующими систему элементами и подсистемами (структура) и процессов их

согласования в пространстве, времени и по усилиям (координация) рисунок 26).

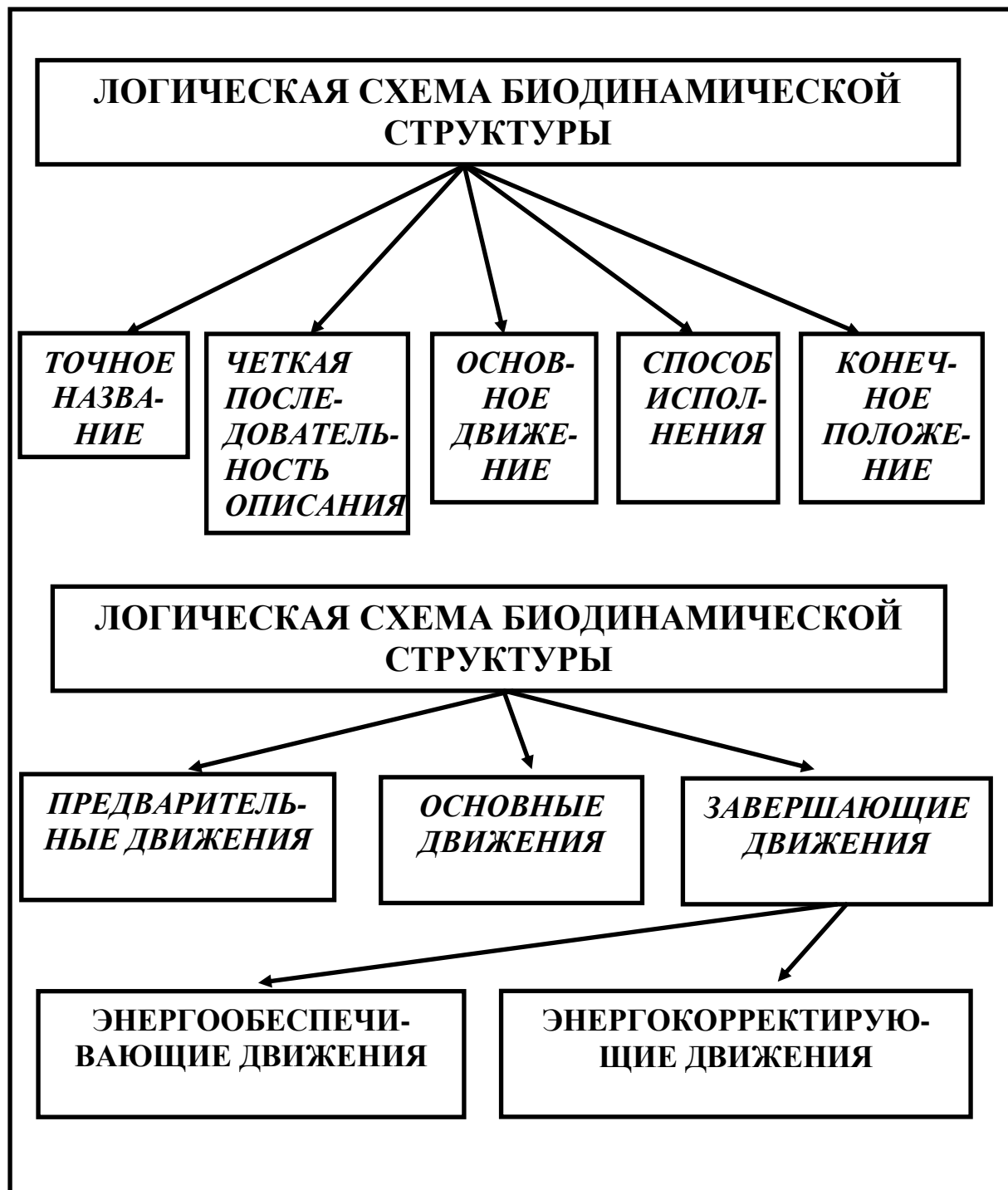


Рисунок 26 – Логическая схема биодинамической структуры

В логическую схему **включают**: точное наименование двигательного действия (шаг, прыжок, бросок, подъем и др.), четкую последовательность его описания – исходное положение или предварительное движение, основное движение, способ исполнения, конечное положение.

Например: из размахивания в упоре на руках (на предплечьях) – **предварительное движение**; подъем – **основное движение**; разгибом (махом вперед, махом назад) – **способ исполнения**; в упор углом (в стойку на плечах, руках) – **конечное положение**.

В логической схеме выделяют **предварительные основные и завершающие движения**. В основных движениях (биодинамической основе) выделяют энергообеспечивающие и энергокорректирующие движения.

При объяснении ученикам логической схемы биодинамической структуры изучаемого двигательного действия **используют понятия**: о составном движении, об основных источниках механической энергии в движениях человека, о взаимодействии внутренних и внешних сил, о механизме накопления механической энергии в биозвеньях и биокинематических цепях и ее передачи от одних частей тела к другим и внешним телам.

Совместно с учениками **устанавливают**: устойчивые определяющие взаимосвязи и взаимодействия между предварительными, основными и завершающими движениями; взаимосвязи и взаимодействия (внутренние и внешние) между энергообеспечивающими и энергокорректирующими движениями и внешним окружением; согласование образующих систему движений элементов и подсистем в пространстве, времени и по усилиям.

Объясняя логическую схему, **учитывают**: возраст учеников, уровень их знаний однородных с биомеханикой учебных дисциплин и познавательных способностей, степень физической и технической подготовленности и на этой основе определяют конкретные задачи для последовательного обучения учеников двигательным действиям, предписанным школьной программой по физической культуре.

ТЕМА 1.8 БИОМЕХАНИКА ДВИГАТЕЛЬНЫХ КАЧЕСТВ

1. ПОНЯТИЕ О ДВИГАТЕЛЬНЫХ КАЧЕСТВАХ
2. БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИЛОВЫХ КАЧЕСТВ
3. БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СКОРОСТНЫХ КАЧЕСТВ
4. БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫНОСЛИВОСТИ
5. БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИБКОСТИ

1. ПОНЯТИЕ О ДВИГАТЕЛЬНЫХ КАЧЕСТВАХ

Каждый человек обладает определенными двигательными возможностями (например, может поднять какой-то вес, пробежать сколько-то метров за определенное время). Совокупность двигательных возможностей человека принято называть моторикой. Двигательные возможности людей, естественно, различны.

Разные двигательные задания (даже в одном движении, например беге, плавании) также могут весьма значительно (качественно) отличаться друг от друга. Так, спринтерский бег и марафонский бег предъявляют организму качественно различные требования, вызывают проявление разных двигательных качеств. Двигательными (или физическими) качествами принято называть отдельные качественно различные стороны моторики человека.

Понятие «двигательное качество» объединяет, в частности, те стороны моторики, которые: 1) проявляются в одинаковых характеристиках движения и имеют один и тот же измеритель (например, максимальную скорость); 2) имеют аналогичные физиологические и биохимические механизмы и требуют проявления сходных свойств психики.

Как следствие этого методики совершенствования определенного двигательного качества имеют общие черты независимо от конкретного вида движений. Измерителями таких двигательных качеств как мышечная сила, быстрота, выносливость, являются сила, скорость и длительность (время) движения. Сила (F), скорость (v) и длительность (t) движения находятся в определенном соотношении друг с другом. Это соотношение различно в разных двигательных заданиях.

Двигательным заданием называют движение со строго оговоренными условиями (параметрами) его выполнения. Например, не бег или

толкание ядра вообще, а конкретно бег 200 м и толкание ядра весом 7257 г. Бег 200 и 400 м или толкание ядра 4 и 5 кг являются разными двигательными заданиями.

В некоторых попытках спортсмен может поставить перед собой задачу показать наилучший результат. Например, прыгнуть вверх с места на наибольшую высоту (т. е. оттолкнуться с максимальной скоростью), подтянуться на перекладине возможно большее число раз, пробежать 100 м за наименьшее время (с наибольшей средней скоростью). Зарегистрированные при этом значения F_m , V_m и t_m называют соответственно **максимальными** силой, скоростью или длительностью двигательного задания (подстрочный символ m от лат. *maximum* – максимальный, наивысший). Эти значения зависят от задаваемых условий (параметров) движения. Такими параметрами является, в частности, длина дистанции, вес снаряда. Если параметры двигательных заданий меняются, то меняются и названные значения.

Зависимости между показателями максимальной силы, скорости и длительности в **разных двигательных заданиях**, отличающихся значениями своих параметров (весом снаряда, длиной дистанции, заданной скоростью передвижения и т. п.), называют **параметрическими зависимостями**. Они получены в условиях, когда спортсмены пытались показать максимальный для себя результат, но изменение параметров (условий) заданий приводило к тому, что эти результаты оказывались различными.

При некоторых значениях задаваемых параметров (оптимальном весе штанги или ядра, оптимальной длине дистанции и пр.) спортсмен может показать самые большие величины F_m , V_m и t_m . Такие величины называют **лимитными** показателями соответствующего движения (бега, плавания брассом, прыжка вверх с места и т. п.) и обозначают с помощью подстрочных символов m (от латинского выражения *maximum* *maximum* – наивысший среди максимальных). Так, например, F_{mm} и V_{mm} при толкании ядра – наивысшие сила и скорость, зарегистрированные при толкании ядер разного веса.

Часто интересно знать, как зависят между собой лимитные значения F_{mm} , V_{mm} , и t_{mm} с одной стороны, и величины, F_m , V_m и t_m , в отдельных двигательных заданиях – с другой. Например, есть ли связь между максимальной силой разгибателей ног (F_{mm}) и скоростью отталкивания в прыжках (V_m), т. е. будут ли более сильные спортсмены выше прыгать? Или зависят ли результаты в беге на 800 м (t_m) от лимитных значений скорости бега (V_{mm}). Подобного рода зависимости $F_{mm} - V_m$, $F_{mm} - t_m$, $V_{mm} - t_m$ и др.) называют **непараметрическими**.

Измерителями таких двигательных качеств, как мышечная сила, быстрота и выносливость, являются максимальные (в частности, лимитные) значения F , v и t соответствующих двигательных заданий.

2. БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИЛОВЫХ КАЧЕСТВ

Сила действия человека. В биомеханике **силой действия человека** называется сила воздействия его на внешнее физическое окружение, передаваемая через рабочие точки своего тела. Примером могут быть сила давления на опору, сила тяги за рукоятку станкового динамометра и т. п.

Сила действия человека (СДЧ), как и всякая другая сила, может быть представлена в виде вектора и определена указанием: 1) направления, 2) величины (скалярной) и 3) точки приложения.

Сила действия человека **зависит** от состояния данного человека и его волевых усилий, т. е. стремления проявить ту или иную величину силы, в частности максимальную силу, а также от внешних условий, в частности от параметров двигательных заданий.

Понятие о силовых качествах. Силовые качества характеризуются максимальными величинами силы действия, которую может проявить тот или иной человек. Вместо термина «силовые качества» используют также термины «мышечная сила», «силовые возможности», «силовые способности».

Наиболее распространенной является следующая классификация силовых качеств:

Силовые качества	Условия проявления
1. Собственно-силовые движения (статическая сила)	Статический режим и медленные
2. Скоростно-силовые:	
а) динамическая сила	Быстрые движения
б) амортизационная сила	Уступающие движения

Сила действия человека и сила мышц. Сила действия человека непосредственно зависит от сил тяги мышц, т. е. сил, с которыми отдельные мышцы тянут за костные рычаги. Однако между натяжением той или иной мышцы и силой действия нет однозначного соответствия. Это объясняется, во-первых, тем, что почти любое движение происходит в результате сокращения большого числа мышечных групп; сила действия — итог их совместной активности; и, во-вторых, тем, что при изменении

суставных углов меняются условия тяги мышц за кость, в частности плечи сил мышечной тяги.

Зависимость силы действия от параметров двигательных заданий. Рассмотрим зависимость силы действия от таких характеристик двигательных заданий, как: а) скорость движущегося звена тела, б) направление движения.

Связь «сила действия–скорость». Если толкать ядра различного веса, измеряя скорость вылета ядра и проявленную силу действия, то сила и скорость будут находиться в обратно пропорциональной зависимости: чем выше скорость, тем меньше проявленная сила, и наоборот. В крайнем случае, когда ядро будет настолько тяжелым, что его уже нельзя сдвинуть с места, можно проявить **наибольшую силу действия** (статическое усилие, скорость равна нулю). Наоборот, при движении свободной руки (масса «ядра», а следовательно, и сила действия, приложенная к нему, равны нулю) **скорость будет наибольшей**. При толкании обычного ядра скорость и сила имеют какие-то **средние величины**.

При регистрации же силы действия, обусловленной совокупной активностью многих мышц, картина несколько сложнее. Так, в односуставных движениях зависимость, как правило, полностью сохраняется. В многосуставных движениях «на краях» зависимости (т. е. в зонах очень больших сил или очень больших скоростей) характер зависимости подчас меняется.

Например, при метании с места ядер разного веса оказывается, что ядро весом 150 г спортсмены высокой квалификации метают дальше (т. е. выбрасывают его с большей скоростью), чем более легкое ядро (шарик) – весом 80 г. Наиболее вероятная причина этого – стремление предохранить руку от травмы. Однако в принципе, в общих чертах обнаруженная на отдельных мышцах зависимость между силой и скоростью сокращения проявляется и в сложнокоординированных движениях человека.

Связь «сила действия–направление движения». Сила действия в уступающих движениях может значительно (до 50–100%) превосходить максимальную изометрическую силу человека. Например, сила действия, проявляемая при приземлении с большой высоты, больше той, которую спортсмен может проявить в отталкивании. Очень часто максимальные величины силы действия проявляются именно в уступающих фазах движения. Сила действия в уступающем режиме зависит от скорости. Чем быстрее происходит растягивание активных мышц, тем большую силу они проявляют.

Положение тела и сила действия человека. Сила действия человека зависит от положения его тела. Эту зависимость определяют следующие основные причины.

Первая: с изменением положения сустава изменяется длина мышц. Сила же, проявляемая мышцей, зависит от ее длины. Приблизительно можно считать, что максимальная сила, проявляемая мышцей, падает пропорционально квадрату уменьшения ее длины. Наименьшие величины натяжения мышца проявляет при своем наибольшем укорочении.

Вторая: изменение плеча силы тяги мышцы относительно оси (вращения. Известно, что в механике плечом силы называется кратчайшее расстояние (перпендикуляр) от оси вращения до линии действия силы. Характерное для двигательного аппарата человека близкое прикрепление мышц к оси вращения приводит к тому, что в большинстве движений достигается выигрыш в скорости и расстоянии за счет проигрыша в силе. Так, при угле равном 90° в локтевом суставе сгибатели его (в частности, двуглавая мышца плеча) проигрывают в силе приблизительно в 10 раз; в области ахиллова сухожилия при отталкивании стопой наблюдается перегрузка примерно в 3 раза. При изменении суставного угла плечо тяги мышц меняется, в результате меняется и создаваемый ими вращательный момент силы.

Указанные причины – изменение длины мышц и плеч сил мышечного натяжения – обуславливают то, что для каждого односуставного движения существует определенная зависимость между суставным углом и максимальной силой действия. Когда в движении участвуют многосуставные мышцы (а в спорте так бывает в большинстве случаев), картина усложняется, поскольку длина этих мышц зависит от положения в соседних суставах. Например, максимальная сила действия при сгибании в коленном суставе зависит от угла не только в этом суставе, но и в тазобедренном.

Выбор положения тела при тренировке силы. При выборе силовых упражнений прежде всего необходимо убедиться в том, что в них будут активны именно те мышцы, силу которых надо увеличить. При этом следует иметь в виду, что подчас даже небольшие изменения положения тела могут привести к тому, что активными станут совершенно иные мышечные группы.

Если, например, спортсмен выполняет приседание со штангой 50 кг на плечах и находится в одной из разных поз, то моменты силы, действующие в отдельных суставах, будут совершенно **различны**, хотя сила действия везде одинакова – 50 кг. Кроме величины силовых моментов меняется и направление их действия – сгибание вместо разгибания.

Наиболее точно определить, какая мышца и в какой степени принимает участие при выполнении того или иного упражнения, можно, зарегистрировав ее электрическую активность. В настоящее время во многих видах спорта составлены «электромиографические карты»

активности мышц при выполнении как соревновательного, так и специальных упражнений.

Выбор разных положений тела при выполнении силовых упражнений (например, подъемы прямых ног в висе или в положении лежа) на спине, упражнения для разгибателей ног, выполняемые в глубоком приседе или полуприседе) приводит к тому, что наибольшее натяжение активных мышц происходит при разной их длине.

Экспериментально доказано, что тренировка силовых качеств при растянутом положении активных мышечных групп вызывает меньший прирост силовых показателей, но более высокий их перенос на нетренируемые положения тела (по сравнению с тренировкой при укороченном положении тренируемых мышц). Наоборот, если максимальное натяжение активных мышц имеет место при наибольшем их укорочении, силовые качества растут быстрее. Однако в этом случае перенос на нетренируемые положения тела существенно ниже, чем при тренировке в условиях удлиненного состояния активных мышц.

При одной и той же силе действия и разных позах величины сил силовых моментов, действующих в отдельных суставах, могут быть совершенно различны. При неправильно выбранной позе силы могут стать настолько большими, что приведут к травме. Такие – опасные – позы тела называют **критическими**. При правильной технике выполнения упражнения спортсмен избегает критических поз (т. е. не перегружает опасно мышцы и связки какого-либо сустава).

Топография силы. Соотношение максимальной силы действия разных мышечных групп получило название **топографии силы**. Чтобы получить относительно полное представление о топографии силы у какого-либо человека, надо измерить силу возможно большего числа его мышечных групп.

У людей, **не занимающихся спортом**, обычно лучше всего развиты мышцы, противодействующие силе тяжести (так называемые антигравитационные мышцы): разгибатели спины и ног, сгибатели рук. У **спортсменов** топография силы зависит от спортивной специализации. Во многих видах спорта обнаружена прямая зависимость между показателями топографии силы и спортивными результатами.

Неправильная топография силы может препятствовать овладению рациональной техникой даже в том случае, если сила отдельных мышечных групп сама по себе достаточна для успешного обучения. Скажем, начинающих толкателей ядра, у которых сила разгибателей рук относительно превосходит силу нижних конечностей, трудно обучить рациональной технике толкания. Они стремятся выполнить его в основном

за счет движения толкающей руки и мало используют мощные мышцы ног и туловища.

Биомеханические требования к специальным силовым упражнениям. Метод сопряженного воздействия. Специальными называются упражнения, предназначенные для совершенствования техники и двигательных качеств, проявляемых при выполнении основного соревновательного движения. С биомеханической точки зрения такие упражнения должны удовлетворять так называемому **принципу динамического соответствия**, т. е. соответствовать соревновательному по следующим **критериям**:

- 1) амплитуде и направлению движения;
- 2) акцентированному участку рабочей амплитуды движения;
- 3) величине силы действия (или мышечной тяги);
- 4) скорости развития максимума силы действия;
- 5) режиму работы мышц.

Например, в легкой атлетике и сейчас нередко используют для развития мышц, сгибающих ногу в тазобедренном суставе, поднимание бедром диска от штанги (или другого отягощения) в положении стоя. Однако в этом упражнении ни амплитуда движения, ни, что еще более важно, акцентированный участок движения не соответствуют таковым в беге и прыжках. Там акцентированный участок работы мышц-сгибателей бедра – в самом начале «выноса бедра» вперед при угле в тазобедренном суставе примерно 210° , а в поднимании бедром отягощения – при угле около 90° .

В качестве специальных силовых упражнений в современном спорте часто используют основные соревновательные движения с искусственно увеличенным сопротивлением: метание утяжеленных снарядов, прыжки, бег, ходьбу с дополнительным отягощением (например, поясами или жилетами из просвинцованной резины), по песку или в гору и т. п. Поскольку при этом одновременно совершенствуются двигательные качества и техника движений, данное методическое направление получило название **метода сопряженного воздействия** (В. М. Дьячков).

3. БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СКОРОСТНЫХ КАЧЕСТВ

Скоростные качества характеризуются способностью человека совершать двигательные действия в минимальный для данных условий отрезок времени. При этом предполагается, что выполнение задания длится небольшое время и утомление не возникает.

Принято выделять **три основные (элементарные) разновидности** проявления скоростных качеств:

- 1) скорость одиночного движения (при малом внешнем сопротивлении);
- 2) частоту движений;
- 3) латентное время реакции.

Между показателями скорости одиночного движения, частоты движений и латентного времени реакции у разных людей корреляция очень мала. Например, можно отличаться очень быстрой реакцией и быть относительно медленным в движениях и наоборот. Имея это в виду, говорят, что элементарные разновидности скоростных качеств **относительно независимы** друг от друга.

В практике приходится обычно встречаться с **комплексным** проявлением скоростных качеств. Так, в спринтерском беге результат зависит от времени реакции на старте, скорости отдельных движений (отталкивания, сведения бедер в безопорной фазе) и частоты шагов.

Скорость, достигаемая в целостном сложнокоординированном движении, зависит не только от скоростных качеств спортсмена, но и других причин (например, скорость бега — от длины шагов, а та, вою очередь, от длины ног, силы и техники отталкивания), поэтому лишь косвенно характеризует скоростные качества, и при детальном анализе именно элементарные формы проявления скоростных качеств оказываются наиболее показательными.

В движениях **циклического характера** скорость передвижения непосредственно определяется частотой движений и расстоянием, проходимым за один цикл (длиной «шага»).

С ростом спортивной квалификации (а следовательно, и с увеличением максимальной скорости передвижения) оба компонента, определяющие скорость передвижения, как правило, возрастают. Однако в разных видах спорта по-разному. Например, в беге на коньках основное значение имеет увеличение длины «шага», а в плавании — примерно в равной степени оба компонента. При одной и той же максимальной скорости передвижения у разных спортсменов могут быть значительные различия в длине и частоте шагов.

Динамикой скорости называется изменение скорости движущегося тела. В спорте существуют **два вида заданий**, требующих проявления максимальной скорости.

В первом случае необходимо показать **максимальную мгновенную скорость** (в прыжках — к моменту отталкивания; в метании — при выпуске снаряда и т. п.); динамику скорости при этом выбирает сам спортсмен (например, он может начать движение чуть быстрее или медленнее).

Во втором случае необходимо выполнить с максимальной скоростью (в минимальное время) все движение (пример: спринтерский

бег). Здесь тоже результат зависит от динамики скорости. Например, в спринтерском беге наилучший результат достигается в тех попытках, где мгновенные скорости на отдельных отрезках стартового разгона не являются максимальными для данного человека.

Во многих движениях, выполняемых с максимальными скоростями, различают **две фазы**:

- 1) увеличения скорости (стартового разгона),
- 2) относительной стабилизации скорости. Характеристикой первой фазы является стартовое ускорение, второй – дистанционная скорость.

Способность быстро набирать «свою» максимальную скорость и способность передвигаться с большой скоростью относительно независимы друг от друга. Действительно, сильнейшие! спринтеры достигают своей максимальной скорости в беге примерно за то же время, что и новички, – через 5–6 с с момента ухода со старта. Можно обладать хорошим стартовым ускорением и невысокой дистанционной скоростью и наоборот. В одних видах спорта главным является **стартовое ускорение** (баскетбол, теннис, хоккей), в других важна лишь **дистанционная скорость** (прыжки в длину), в третьих существенно и **то и другое** (спринтерский бег).

Скорость изменения силы (градиент силы). Слово «скорость» употребляется для обозначения не только быстроты изменения положения тела или его частей в пространстве, но и быстроты изменения других показателей (например, можно говорить о скорости изменения температуры). Сила действия, которую проявляет человек в одной попытке, непрерывно изменяется. Это вызывает необходимость изучения скорости изменения силы – **градиента силы**. Градиент силы особенно важен при изучении движений, где необходимо проявлять большую силу в возможно короткое время – «взрывом»

Для численной характеристики градиента силы используют обычно один из следующих показателей:

- 1) время достижения силы, равной половине максимальной. Нередко именно этот показатель называют градиентом силы (такое словупотребление удобно своей краткостью, но не вполне точно);
- 2) частное от деления F_{\max} на t_{\max} . Этот показатель называют **скоростно-силовым индексом**.

В тех случаях, когда речь идет о перемещении собственного тела спортсмена (а не снаряда), удобно пользоваться так называемым **коэффициентом реактивности** (по Ю. В. Верхошанскому):

$$F_{\max}: t_{\max} \cdot \text{вес тела спортсмена}$$

Скорость нарастания силы играет большую роль в быстрых движениях. С ростом спортивной квалификации время выполнения

движений обычно сокращается и поэтому роль градиента силы становится более значимой.

Время, необходимое для достижения максимальной силы (t_{max}), составляет примерно 300–400 мс. Время проявления силы действия во многих движениях значительно меньше. Например, отталкивание в беге у сильнейших спринтеров длится менее 100 мс, отталкивание в прыжках в длину – менее 150–180 мс, отталкивание в прыжках в высоту – менее 250 мс, финальное усилие в метании копья – примерно 150 мс и т. п.

Во всех этих случаях спортсмены **не успевают проявить свою максимальную силу** и достигаемая скорость зависит в значительной степени от градиента силы. Например, между высотой прыжка вверх с места и коэффициентом реактивности очень большая корреляция (прыгает выше тот спортсмен, кто при том же собственном весе может развить большую силу отталкивания за наименьшее время).

Параметрические и непараметрические зависимости между силовыми и скоростными качествами. Если спортсмен несколько раз выполняет одно и то же движение (например, толкание ядра с места), стремясь показать в каждой попытке **наилучший результат**, а параметры двигательного задания (в частности, вес ядра) при этом меняются, то величины силы действия, приложенной к ядру, и скорость вылета ядра будут связаны друг с другом **параметрической зависимостью**.

Под влиянием тренировки параметрическая зависимость «сила – скорость» может измениться по-разному. Это определяется тем, какие тренировочные средства и методы использовались спортсменом

Существенно, что прирост скорости при движениях **со средними сопротивлениями** (а такими сопротивлениями в реальных спортивных условиях могут быть, например, вес и масса собственного тела или снаряда) может происходить при разном соотношении прироста силовых и скоростных качеств: в одних случаях – за счет роста **скоростных** качеств, в других – за счет роста **силовых** качеств.

Какой путь роста скоростных показателей является в тренировке более выгодным, зависит от многих причин (возраста спортсмена, стажа занятий, вида спорта и др.), и в частности от величины сопротивления (в % от F_{lim}), которое приходится преодолевать спортсмену: чем оно больше, тем более важно повышение силовых качеств. Поэтому чем больше величина преодолеваемого сопротивления, тем выгоднее в тренировке повышать скорость за счет роста силовых показателей.

Биомеханические аспекты двигательных реакций. Различают простые и сложные двигательные реакции. **Простая** реакция – это ответ заранее известным движением на заранее известный (внезапно появляющийся) сигнал. Примером может быть скоростная стрельба из

пистолета по силуэтам, старт в беге и т. п. Все остальные типы реакций – когда заранее не известно, что именно надо дать в ответ на сигнал и каким будет этот сигнал, – называются **сложными**. В двигательных реакциях различают:

а) **сенсорную фазу** – от момента появления сигнала до первых признаков мышечной активности (обычно они регистрируются ЭМГ, т. е. по появлению электрической активности в соответствующих мышечных группах);

б) **премоторную фазу** (электромеханический интервал – ЭМИ) – от появления электрической активности мышц до начала движения. Этот компонент наиболее стабилен и составляет 25–60 мс;

в) **моторную фазу** – от начала движения до его завершения

Сенсорный и премоторный компоненты образуют **латентное время реагирования**.

С ростом спортивного мастерства длительность как сенсорного, так и моторного компонента в сложных реакциях **сокращается**. Однако в первую очередь сокращается **сенсорная фаза** (спортсмену нужно меньше времени для принятия решения), что позволяет более точно, спокойно и уверенно выполнить само движение.

Вместе с тем, как бы она ни сокращалась, нужно иметь возможность наблюдать объект реакции (мяч, противника и т. п.) достаточное время. Когда движущийся объект попадает в поле зрения, глаза начинают двигаться, как бы сопровождая его. Это движение глаз происходит автоматически и не может быть произвольно заторможено или ускорено (правда, на спортсменах высокого класса такие исследования пока не проводились; быть может, они и умеют это делать).

Приблизительно через 120 мс после начала прослеживаемого движения глаз происходит опережающий поворот головы примерно в то место пространства, куда передвигается объект и где он может быть «перехвачен». Поворот головы происходит также автоматически (даже у людей, плохо умеющих ловить мяч), но при желании может быть заторможено. Если поворот головы не успевает произойти и вообще если время наблюдения за движущимся объектом мало, успешность реакции уменьшается.

Большое значение в сложных реакциях приобретает **умение предугадывать** действия противника (например, направление и характер удара или броска мяча или шайбы). Подобное умение называют **антиципацией**, а соответствующие реакции – **антиципирующими**.

Что касается моторной фазы реакции, то продолжительность ее при разных вариантах технических действий различна. Например, для того чтобы поймать мяч, требуется больше времени, чем его отбить.

4. БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫНОСЛИВОСТИ

Основы эргометрии. Эргометрией называется совокупность количественных методов измерения физической работоспособности человека. Когда человек выполняет какое-либо достаточно длительное двигательное задание (например, бег или плавание на заданную дистанцию, подъем или удержание какого-либо груза либо собственного тела), всегда имеем дело с тремя основными переменными:

Интенсивность выполняемого двигательного задания. Интенсивность двигательного задания обозначается одна из трех механических величин:

а) скорость спортсмена (например, в беге; единица измерения – м/с);

б) мощность (например, при педалировании на велоэргометре; единица измерения – ватты);

в) сила (например, при статическом удержании груза; единица измерения – ньютоны).

Объем выполненного двигательного задания. Этими словами обозначается одна из следующих трех механических величин:

а) пройденное расстояние (например, в беге; единица измерения – метры);

б) выполненная работа (в физическом смысле, например, при вращении педалей велоэргометра; единица измерения – джоули);

в) импульс силы (при статическом усилии; единица измерения – ньютон-секунды).

Время выполнения (единица измерения – секунды).

Показатели интенсивности, объема и времени выполнения двигательного задания называются **эргометрическими показателями**. Один из них всегда задается как параметр двигательного задания; два других – измеряются. Например, при беге на 5000 м дистанция задается заранее, а время бега и средняя скорость измеряются; при часовом беге задается время, а измеряются дистанция и скорость; при беге с заданной скоростью «до отказа» измеряются дистанция и время, скорость же определяется заранее и т. д.

Если величины времени, интенсивности и объема двигательных заданий соответствуют друг другу, то, при разных вариантах заданий получаются совпадающие результаты. Например, если спортсмены пробегают дистанцию 3 км за 12,0 мин (средняя скорость ~ 4,1 м/с), то при задании пробежать наибольшую дистанцию за 12 мин (так называемый тест Купера) они пробегут тоже 3 км, а если им предложить бежать с

постоянной скоростью 4,1 м/с, то они будут в состоянии поддерживать ее в среднем лишь 12 мин (это для них предельная длительность данного двигательного задания и пробегут за это время те же 3 км.

Таким образом, конкретный вариант задания (что именно – дистанция, скорость или время – задается, а что измеряется) для эргометрических показателей не имеет значения. Поэтому результаты, полученные в заданиях одного типа (например, в беге с заданной скоростью), можно переносить на задания другого типа (например, бег на определенную дистанцию), если только задаваемые или регистрируемые значения времени, интенсивности и объема двигательных заданий совпадают. Это так называемое **правило обратимости двигательных заданий**.

Из курсов биохимии и физиологии известно, что в организме человека есть **два источника энергопродукции**: анаэробный и аэробный.

Наибольшая величина энергии, освобождаемой при мышечной работе, определяется величинами:

- 1) максимального кислородного долга,
- 2) кислородной емкости, т. е. произведения, времени работы на скорость потребления кислорода (л/мин).

Утомление и его биомеханические проявления. Утомлением называется вызванное работой временное снижение работоспособности. Существуют, как известно, несколько основных типов утомления: умственное, сенсорное, эмоциональное, физическое (вызванное мышечной деятельностью). В биомеханике рассматривается только физическое утомление.

Утомление при мышечной работе проходит через **две фазы**:

1) фазу компенсированного утомления – в ней, несмотря на возрастание затруднения, спортсмен сохраняет интенсивность выполнения двигательного задания (например, скорость плавания) на прежнем уровне;

2) фазу декомпенсированного утомления – в ней спортсмен, несмотря на все старания, не может сохранить необходимую интенсивность выполнения задания.

Утомление проявляется в специфических субъективных ощущениях, объективных физиологических и биохимических сдвигах (например, в уменьшении систолического выброса, сдвиге рН крови в кислую сторону). Проявляется оно очень заметно и в биомеханических (двигательных) показателях.

В фазе компенсированного утомления скорость передвижения (или другой показатель интенсивности двигательного задания) не снижается, происходят изменения в технике движений. Снижение одних показателей компенсируется ростом других. Наиболее часто уменьшается

длина «шагов», что компенсируется возросшей их частотой. Особенно четко эта закономерность проявляется при задании удерживать как можно дольше постоянную скорость передвижения (например, при плавании за механическим лидером или светолитером).

Под влиянием утомления снижаются скоростно-силовые показатели утомленных мышц. Такое снижение может до известной степени компенсироваться сознательным или бессознательным изменением техники движения.

Наблюдаемые в состоянии утомления изменения в технике движений имеют **двойную природу**: изменения, вызванные утомлением, и приспособительные реакции, которые должны компенсировать эти изменения, а также снижение функциональных (в частности, скоростно-силовых) возможностей спортсмена.

В результате далеко не всегда ясно, полезным или вредным является то или иное изменение в технике движений при утомлении (например, меньшее сгибание ноги в коленном суставе при беге: надо ли с ним бороться или именно такой вариант исполнения в утомленном состоянии лучше других?). Это решается в каждом конкретном случае на основе практического опыта и специальных биомеханических исследований.

Повышение устойчивости спортивной техники по отношению к утомлению – одна из важных задач во многих видах спорта. Это достигается длительной специальной тренировкой (в том числе и в состоянии утомления).

Например, у сильнейших велосипедистов-шоссейников техника в состоянии утомления практически не меняется. Подсчитано, что они делают в год около 5 миллионов оборотов педалей. (Для сравнения: за все время обучения в школе ученик пишет лишь около 1 миллиона букв).

Выносливость и способы ее измерения. Если предложить одно и то же двигательное задание разным людям, признаки утомления у них появятся **через разное время**. Причиной этого является, очевидно, разный уровень выносливости у этих людей.

Выносливостью называется способность противостоять утомлению. При прочих равных условиях у более выносливых людей наступает позже как первая, так и вторая фаза утомления.

Основным мерилем выносливости считают **время**, в течение которого человек способен поддерживать заданную интенсивность двигательного задания. Согласно правилу обратимости двигательных заданий, для измерения выносливости можно использовать и другие эргометрические показатели.

Рассмотрим пример: спортсмены лежа выжимают «до отказа» штангу 50 кг. Если не учитывать уровень их максимальной (F_{mm}) силы,

то более выносливыми следует считать тех, кто смог поднять штангу большее число раз. Если же учесть, что максимальная сила у одних спортсменов невелика (скажем, 55 кг), а у других намного больше, то ясно, что на полученный результат повлияет не только разный уровень выносливости испытуемых, но и разные силовые возможности. Устранить их влияние можно было бы, например, так: предложить всем выжимать штангу, вес которой равен определенному проценту от их максимальной силы (скажем, 50% от F_{mm}). В первом случае интенсивность задания уравнивалась в абсолютных единицах (килограммах), во втором – в относительных (в % от F_{mm}).

Рассмотрим другой пример: два спортсмена (условно А и Б) бегут 800 м. Результат А – 2 мин 10 с, Б – 2 мин 12 с. Очевидно, А более вынослив, чем Б. Однако допустим, что А пробегает 100 м за 10,5 с, а Б – лишь за 15,0 с. Если учитывать уровень скорости, которым владеют спортсмены, результат А на 800 м является слабым, время Б, наоборот, надо расценивать как очень хорошее. Таким образом, если не учитывать уровень максимальной скорости спортсменов, то А выносливее, чем Б; если же учесть их скоростные возможности, соотношение меняется: Б будет выносливее, чем А.

В этих примерах видна причина, обуславливающая два типа **сказателей выносливости** – явные и латентные. **Явные** (используется также термин «абсолютные») – без учета развития силовых или скоростных качеств; **латентные** (говорят еще – относительные) – с учетом развития названных качеств, когда их влияние каким-либо образом исключается.

Хотя латентных показателей выносливости существует довольно много, в их основе всегда лежит сравнение эргометрических показателей в данном двигательном задании с достижением в других заданиях. Примерами латентных показателей выносливости могут быть:

1. Коэффициент выносливости – отношение времени преодоления всей дистанции ко времени преодоления какого-либо короткого отрезка (100 м в беге, 50 м в плавании и т. п.): $KB = t_a : t_{эт}$, где t_a – время на дистанции (например, 400 м за 48,0 с), $t_{эт}$ – лучшее время на коротком «эталонном» отрезке (100 м – 11,0 с). $KB = 48,0 : 11,0 = 4,3636$.

2. Запас скорости (по Н. Г. Озолину) – разность между средним временем преодоления эталонного отрезка при прохождении всей дистанции и лучшим временем на этом отрезке.

Запас скорости ($ЗС$) = $t_a : n - t_{эт}$, где n – число, показывающее, во сколько раз эталонный отрезок меньше всей дистанции (400 м : 100 м = 4). Запас скорости = $48,0 : 4 - 11,0 = 1$ с. Чем меньше запас скорости, тем выше выносливость.

С ростом спортивной квалификации запас скорости, как правило, **уменьшается**. Например, у сильнейших бегунов мира на 400 м он равен 0,9–1,0 с, у начинающих –1,5 с. С увеличением дистанции запас скорости также увеличивается.

Тренеры в видах спорта циклического характера должны знать, чему равны показатели запаса скорости (или другие латентные показатели выносливости) на разных дистанциях у спортсменов разной квалификации, это поможет определять слабые стороны в подготовке своих учеников, видеть, что именно отстает – скорость или выносливость.

Проблема экономизации спортивной техники. Если у разных спортсменов при выполнении одного и того же двигательного задания измерить энергозапрос, то его величины могут оказаться резко различными: одна и та же работа будет для разных спортсменов связана с неодинаковым расходом энергии.

Так, например, при плавании с одинаковой скоростью на дистанции 150 м (время плавания –146 с) величина кислородного запроса у пловцов-третьеразрядников составляла в среднем 5486 мл/мин, а у мастеров спорта лишь 2726 мл/мин, т. е. в 2 раза (!) меньше. При плавании с той же скоростью третьеразрядники затрачивают в 2 раза больше энергии, чем мастера.

Экономичность работы нередко оценивают с помощью коэффициентов, связывающих величины выполненной работы с величинами затраченной при этом энергии. Наиболее часто применяют **три таких коэффициента**.

1. Валовый коэффициент (брутто-коэффициент) экономичности работы: $K_1 = A : E$, где A – выполненная механическая работа (в джоулях), E – затраченная энергия (в джоулях).

2. Нетто-коэффициент; из величины энергозатрат при выполнении работы вычитают величину энергозатрат в состоянии покоя (в условиях основного обмена или в рабочей позе): $K_2 = A : E - E_п$, где $E_п$ – энергия, затрачиваемая организмом в состоянии покоя.

3. Дельта-коэффициент; сравнивают величины выполненной работы и энергозатрат в двух двигательных заданиях разной интенсивности: $K_3 = A_2 - A_1 : E_2 - E_1$, где A_1 и A_2 – величины работы (в джоулях), E_1 и E_2 – энергозатраты (в джоулях).

Все эти коэффициенты введены по аналогии с известным по школьному курсу физики коэффициентом полезного действия (к. п. д.), а K_1 формально равен ему. Однако отношение к введенным коэффициентам K_1 , K_2 и K_3 , их использование и трактовка отличаются от того, что имеет место в физике и в технике.

Таким образом, использование указанных коэффициентов, **во-первых**, позволяет анализировать лишь внешние результаты двигательных заданий (но не процессы, лежащие в их основе); **во-вторых**, приемлемо лишь при анализе двигательных заданий сходного типа. Можно, например, сравнивать величины этих коэффициентов в одном и том же движении (например, в беге), и нельзя – в движениях далеких друг от друга (например, в плавании и прыжках в воду).

В циклических локомоциях для характеристики экономичности техники обычно используют не указанные выше коэффициенты, а так называемую **константу пути** – величину энерготрат, приходящуюся на 1 метр пути.

При сравнении разных локомоций значения константы пути и коэффициентов экономичности работы могут не совпадать, поскольку в разных локомоциях для того, чтобы преодолеть одно и то же расстояние, надо выполнить разную механическую работу.

Например, при ходьбе по сравнению с ездой на велосипеде коэффициенты K_1 и K_2 больше (т. е. работа экономичнее), но в то же время и сама механическая работа больше (главным образом из-за подъема общего центра тяжести в каждом шаге). При езде на велосипеде K_1 и K_2 меньше, но меньше и механическая работа. В результате затраты энергии на метр пути (константа пути) при езде на велосипеде гораздо меньше, чем при ходьбе.

Экономичность техники зависит от **двух групп** факторов: 1) физиологических и биохимических (в частности от того, аэробными или анаэробными процессами обеспечивается поставка энергии) и 2) биомеханических.

Биомеханические основы экономизации спортивной техники. С биомеханической точки зрения есть **два различных пути** повышения экономичности движений:

1) снижение величин энерготрат в каждом цикле (например, в каждом шаге);

2) рекуперация энергии, т. е. преобразование кинетической энергии в потенциальную и ее обратный переход в кинетическую.

Что касается **первого пути**, то он реализуется **несколькими основными способами**:

1) устранением ненужных движений (например, в вертикальном направлении; ведь каждая работа по подъему тела требует затрат энергии и оправдана лишь постольку, поскольку она абсолютно необходима для продвижения вперед);

2) устранением ненужных сокращений мышц. У квалифицированных спортсменов суммарное время активности мышц меньше, время

расслабленного состояния больше, чем у новичков. Это достигается за счет так называемой концентрации активности мышц. Внешне это выражается в легкости и свободе движений;

3) уменьшением внешнего сопротивления (например, уменьшением сопротивления воды в плавании за счет выбора более обтекаемого положения тела);

4) уменьшением внутрицикловых колебаний скорости. Повышение скорости (после ее падения) требует затрат энергии. По возможности такие колебания надо уменьшать, хотя в некоторых видах спорта (плавание брассом[^] академическая гребля) они поневоле остаются значительными;

5) выбором оптимального соотношения между силой действия и скоростью рабочих движений. В некоторых видах спорта (велосипедном, гребле) можно сохранить одну и ту же скорость передвижения при разном соотношении силы действия и скорости отдельных движений (например, в гребле за счет изменения площади лопасти весла).

Аналогично в лабораторных условиях можно поддерживать ту же мощность на велоэргометре при разном соотношении силы действия и скорости педалирования. Для каждой заданной скорости передвижения или мощности существует свое оптимальное соотношение между силой действия и скоростью рабочих движений.

Наиболее просто вопрос сохранения его решается в велосипедном спорте, где величина сопротивления задается сменой передачи (можно сделать так, что за один рабочий цикл велосипед будет проезжать разные расстояния). На разных передачах велосипедист будет ехать при одной и той же величине энергозатрат с разной скоростью;

6) выбором оптимального соотношения между длиной и частотой шагов. Подобного рода зависимости существуют и в других циклических локомоциях. Интересно, что в ходьбе оптимальная (по затратам энергии) длина и частота шагов подбирается человеком без специального обучения. В других циклических локомоциях нередко можно наблюдать довольно значительные отклонения от наиболее выгодного соотношения этих характеристик. Подобные отклонения должны устраняться тренером.

Рекуперация энергии в движениях человека осуществляется **двумя способами.**

Во-первых, кинетическая энергия движения может переходить в потенциальную энергию гравитации (сил тяжести). Например, в обычной ходьбе наивысшему положению ЦМ тела (максимуму потенциальной энергии) соответствует минимум кинетической энергии, и наоборот,

кинетическая энергия тела самая большая, когда его ОЦМ находится в самом низком положении.

Образно можно себе представить, что ОЦМ движется как шарик, катящийся по неровной поверхности: на подъемах кинетическая энергия переходит в потенциальную, а на спусках – наоборот. Благодаря этому полная механическая энергия тела (т. е. сумма его кинетической и потенциальной энергии) сохраняется. Разумеется, это сохранение не стопроцентное – значительная часть энергии рассеивается. Но все же благодаря описанному явлению экономичность ходьбы значительно повышается.

Во-вторых, кинетическая энергия движения превращается в потенциальную энергию упругой деформации мышц, а накопленная потенциальная энергия частично снова превращается в работу – идет на сообщение скорости телу и его подъем. В прыжках на месте, например, рациональное использование упругих сил мышц может повысить экономичность работы более чем в 2 раза.

Повышение экономичности спортивной техники – основное направление ее совершенствования в видах спорта, требующих большой выносливости. Определенное значение имеют и другие факторы, в частности предупреждение локального утомления отдельных мышечных групп, что может наблюдаться, если нагрузка на какую-либо мышечную группу становится особенно велика.

5. БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИБКОСТИ

Гибкостью называется способность выполнять движения с большой амплитудой. Слово «гибкость» используется обычно как более общий термин. Применительно к отдельным суставам говорят о **подвижности** в них. Для точного измерения гибкости (подвижности в суставах) надо измерить угол в соответствующем сочленении в крайнем возможном положении между сочленяющимися звеньями.

Измерение углов движений в суставах, как известно, называется **гониометрией** (от греч. «гони» – угол и «метр» – мера). Поэтому говорят, что для измерения гибкости используются **гониометрические показатели**.

Наиболее детальный способ измерения гибкости – так называемый **глобографический**. При этом поверхность, очерчиваемая в пространстве дистальной точкой движущейся кости, рассматривается как «глобус», на котором определяют предельные значения «меридианов» и «параллелей».

В спортивной практике для измерения гибкости нередко используют **не угловые, а линейные меры**. В этом случае на результате измерения

могут сказаться размеры тела, например длина рук (при наклоне вперед или выполнении выкрута с палкой), длина туловища (при измерении расстояния между руками и ногами во время выполнения гимнастического моста). Поэтому **линейные меры менее точны**, и, применяя их, следует вводить **поправки**, устраняющие нежелательное влияние размеров тела.

Выделяют активную и пассивную гибкость. **Активная гибкость** – способность выполнять движения в каком-либо суставе с большой амплитудой за счет активности мышечных групп, проходящих через этот сустав (пример: амплитуда подъема ноги в равновесии «ласточка»).

Пассивная гибкость определяется наивысшей амплитудой, которую можно достичь за счет внешних сил. Показатели пассивной гибкости больше соответствующих показателей активной гибкости.

Разница между ними называется **дефицитом активной гибкости**. Он определяется зависимостью «длина – сила тяги» активной мышцы, в частности величиной силы тяги, которую может проявить мышца при своем наибольшем укорочении. Если эта сила недостаточна для дальнейшего перемещения сочленяющихся звеньев тела, то говорят об **активной недостаточности мышцы**.

Экспериментально показано, что активная недостаточность может быть уменьшена (соответственно уменьшен дефицит активной гибкости и повышена сама активная гибкость) за счет силовых упражнений, выполняемых с большой амплитудой движения. Рост силовых качеств приводит в этом случае к увеличению показателей активной гибкости.

Гибкость зависит от ряда условий: температуры окружающей среды (повышение температуры приводит к повышению гибкости), времени суток (в середине дня она выше), разминки и др.

В спорте не следует добиваться предельного развития гибкости. Ее надо развивать лишь до такой степени, которая обеспечивает беспрепятственное выполнение необходимых движений. При этом величина гибкости должна несколько превосходить ту максимальную амплитуду, с которой выполняется движение («запас гибкости»).

Например, высококвалифицированные прыгуны на лыжах с трамплина используют в полете запас активного разгибания (тыльного сгибания) стопы в среднем на 93,5%. Нередко у спортсменов наблюдается прямая корреляция между показателями гибкости и амплитудой движений в основных упражнениях.

РАЗДЕЛ 2 ЧАСТНАЯ БИОМЕХАНИКА

ТЕМА 2.1 БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛЁГКОЙ АТЛЕТИКИ

1. БИОДИНАМИКА ХОДЬБЫ
2. БИОДИНАМИКА БЕГА
3. БИОДИНАМИКА ПРЫЖКА
4. БИОДИНАМИКА МЕТАНИЙ

1. БИОДИНАМИКА ХОДЬБЫ

Ходьба – автоматизированный двигательный акт, осуществляющийся в результате сложной координированной деятельности скелетных мышц туловища и конечностей. Отталкиваясь от почвы, нога приводит тело в движение – вперед и несколько вверх и вновь совершает размах в воздухе. При ходьбе тело поочередно опирается то на правую, то на левую ногу.

В акте ходьбы деятельное участие принимают также верхние конечности человека: при выносе вперед правой ноги правая рука движется назад, а левая – выносится вперед. Руки и ноги человека при ходьбе совершают движения в противоположных направлениях.

Движение отдельных звеньев свободной ноги (бедро, голени и стопы) определяется не только сокращением мышц, но и инерцией. Чем ближе звено к туловищу, тем меньше его инерция и тем раньше оно может последовать за туловищем. Так, бедро свободной ноги перемещается вперед раньше всего, поскольку оно ближе всего к тазу. Голень, будучи дальше от таза, отстает, что ведет к сгибанию ноги в колене. Точно так же отставание стопы от голени вызывает сгибание в голеностопном суставе.

Последовательное вовлечение мышц в работу и точная координация их сокращений при ходьбе обеспечиваются у человека ЦНС и главным образом корой больших полушарий головного мозга. С точки зрения нервного механизма, ходьба представляет собой автоматизированный цепной рефлекс, в котором афферентная импульсация, сопровождающая каждый предыдущий элемент движения, служит сигналом для начала следующего.

Функциональный анализ ходьбы. Ходьба – это сложное циклическое локомоторное действие, одним из основных элементов которого является шаг. При ходьбе, как и при других видах локомоторного движения, перемещение тела в пространстве происходит благодаря взаимодействию внутренних (сокращение мышц) и внешних (масса тела, сопротивление опорной поверхности и др.) сил.

В каждом шаге, совершаемом правой и левой ногой, различают период **опоры** и период **маха**. Наиболее характерной особенностью всех видов ходьбы по сравнению с бегом и прыжками является постоянное опорное положение одной ноги (период одиночной опоры) или двух ног (период двойной опоры). Соотношение этих периодов обычно равно 4:1. Как период опоры, так и период маха может быть разделен на две основные фазы, а именно: период опоры – на **фазы переднего толчка и заднего толчка**, разделенные моментом **вертикали**; маха – **фазы заднего шага и переднего шага**, между которыми также находится момент **вертикали**.

Фаза переднего толчка. После заключительной фазы переднего шага начинается постановка стопы на почву при почти выпрямленном, но не закрепленном коленном суставе и согнутом, слегка отведенном и супинированном бедре. Стопа становится на опорную поверхность пяткой, после чего она совершает двойной перекаат: с пятки на носок и снаружи внутрь. Этот перекаат происходит под влиянием силы тяжести тела и последовательного включения в работу короткой малоберцовой мышцы, поднимающей наружу край стопы и далее мышцы – длинной малоберцовой, задней большеберцовой, длинного сгибателя большого пальца стопы и длинного сгибателя пальцев, поддерживающих продольную дугу (свод) стопы. Такое движение стопы имеет двойное значение: увеличение длины шага и растягивание мышц заднего отдела голени, участвующих в отталкивании тела. В начальном периоде опоры приобретает большое значение рессорная функция, выполняемая суставами стопы и незакрепленным суставом колена. Далее под действием тяжести и инерции тела нога несколько сгибается в коленном суставе и разгибается в голеностопном суставе при уступающей работе четырехглавой мышцы и мышц заднего отдела голени, что еще более повышает буферные свойства конечности.

Момент вертикали. К моменту вертикали нога выпрямляется и приводится за счет сокращения большей части мышц бедра и отчасти под влиянием силы тяжести. В это время стопа опирается на грунт всей подошвой, причем большинство ее мышц своим сокращением способствует сохранению сводов и участвует в функции удержания равновесия тела.

Фаза заднего толчка тела (отталкивание от опорной поверхности). В связи с этим контактирующая с грунтом конечность удлиняется за счет разгибания во всех ее суставах. В тазобедренном суставе вновь происходит некоторое отведение, но в отличие от переднего толчка, сопровождаемое небольшим поворотом бедра (внутри). Ведущая роль в этой фазе

принадлежит четырехглавой, полусухожильной, полуперепончатой, длинной головке двуглавой и главным образом ягодичным мышцам.

Фаза заднего шага. В начале этой фазы (непосредственно после окончания заднего толчка) маховая нога находится в положении разгибания, некоторого отведения и поворота внутрь, что приводит к повороту таза вместе с туловищем в противоположную сторону. Из этого положения нога, производящая шаг, начинает совершать сгибание в тазобедренном и коленном суставах, дополняемое незначительным поворотом ее наружу, что взаимосвязано с вращением таза в сторону маховой ноги. В это время основная нагрузка падает на мышцы: подвздошно-поясничную, приводящие, заднего отдела бедра и отчасти на разгибатели стопы.

Момент вертикали. Маховая нога выпрямлена в тазобедренном суставе и достигает максимального сгибания (по сравнению с другими фазами) в суставе колена. Сокращены главным образом мышцы заднего отдела бедра.

В фазе переднего шага мышцы заднего отдела бедра расслабляются и благодаря силе инерции и кратковременному баллистическому сокращению четырехглавой мышцы голень выбрасывается вперед. После этого начинается новый цикл движения.

Центр тяжести тела (ЦТ) при ходьбе наряду с поступательными движениями (вперед), совершает еще движения боковые и в вертикальном направлении. Колебания ОЦТ тела в стороны связаны с перемещением на опорную ногу всей массы тела, благодаря чему траектория ОЦТ тела проходит непосредственно над площадью опоры. Чем ходьба быстрее, тем эти колебательные движения меньше, что объясняется влиянием инерции тела.

Помимо мышц нижних конечностей при ходьбе включаются в динамическую работу почти все мышцы туловища, шеи и верхних конечностей. В связи с последовательным чередованием растяжения, сокращения и расслабления различных мышечных групп, что происходит во время ходьбы, значительная нагрузка на всю мышечную систему обычно не вызывает выраженного утомления. В значительной мере это также объясняется тем, что ритмические движения всего тела облегчают нормальную вентиляцию легких и улучшают кровообращение всех органов, включая центральную нервную систему (ЦНС).

При ходьбе человек взаимодействует с опорной поверхностью, при этом возникают силовые факторы, называемые главным вектором и главным моментом сил реакции опоры.

Временная структура шага. Локомоции человека – процесс периодический, в котором через приблизительно равные промежутки

времени повторяются сходные положения тела. Наименьшее время, прошедшее от данного положения до его повторения, является временем цикла. При ходьбе время цикла называют по числу сделанных шагов «временем двойного шага». Каждая нога в своем циклическом движении находится либо на опоре, либо переносится на новое место опоры.

Внешние силы и силы реакции опоры. На тело человека, идущего или бегущего по поверхности Земли, действуют извне аэродинамические силы сопротивления атмосферы, силы реакции опоры.

Аэродинамические силы распределены по поверхности тела и возрастают приблизительно пропорционально площади фронтальной проекции поверхности тела и квадрату скорости движения.

Одной из наиболее существенных сил является сила реакции опорной поверхности, воздействующая на стопы человека. В течение опорного времени тело человека получает необходимый импульс, являющийся результатом активного действия мускулатуры.

Опорные реакции неравномерно распределены на некоторой сравнительно небольшой площади контакта между стопой и поверхностью опоры. Распределение изменяется в течение времени опоры: вначале давление создается на пятку, затем при постановке всей стопы на опору оно возникает в области плюсневых костей и здесь в момент отталкивания от опоры давление достигает максимальной величины. Местоположение максимума давления на стопу изменяется при изменении темпа локомоции, вида локомоции (бег, прыжки, ходьба и пр.). Наиболее часто этот максимум располагается посередине стопы в районе головок плюсневых костей.

По правилам механики силовое взаимодействие между стопой и опорой может быть представлено одним равнодействующим вектором силы и одним равнодействующим вектором момента сил.

При ходьбе графики компонент опорной реакции имеют два максимума. Первый максимум удерживает тело от падения вперед и возникает на опоре приблизительно в конце отталкивания с носка противоположной ноги. Сила реакции опоры приложена к пятке тормозящей ноги и направлена вверх-назад и слегка внутрь стопы. Момент сил во время опоры на пятку сравнительно невелик, а направление его действия выражено нечетко.

Второй максимум компонент опорных реакций, названный задним толчком, возникает в конце опорной фазы ноги приблизительно перед началом перенесения опоры на противоположную ногу. При заднем толчке реакция опоры приложена в области плюснефаланговых суставов и направлена вверх-вперед и слегка внутрь стопы. Между главными максимумами находится пауза в изменениях величины опорной реакции. В

это время стопа полностью стоит на опоре и в некоторый момент времени, названный моментом вертикали, тело находится над стоящей стопой, а переносная нога проходит рядом с опорой. Сила реакции опоры приложена вблизи середины стопы и направлена вертикально вверх. Момент сил реакции опоры препятствует развороту стопы носком наружу.

При ходьбе длина шага зависит от многих причин, одной из существенных является длина ног (или рост человека), подвижность (амплитуда) в тазобедренном и голеностопном суставах и т. д.

2. БИОДИНАМИКА БЕГА

Бег – способ передвижения, при котором фаза опоры одной ногой чередуется с безопорной фазой полета, когда обе ноги находятся в воздухе.

Временные фазы бега. Кинематографическим методом выявлены фазы бега, или цикл движений, начинающийся касанием одной из ног земли и продолжающийся до тех пор, пока эта же нога вновь не коснется земли. Каждый цикл включает фазу опоры на одну ногу и фазу маха (т. е. возвращение ноги вперед), когда тело не опирается на эту ногу.

Полный двигательный цикл начинается в момент отталкивания правой ногой и заканчивается в положении, когда левая нога снова покидает землю. Момент постановки и отталкивания используются для выделения различных фаз бегового цикла.

При умеренных скоростях бега мах ногой длится примерно втрое дольше, чем опорный период. В течение фазы возвращения вперед имеется два периода, когда тело находится в воздухе: один – непосредственно после отрыва данной конечности, и второй – следующий за отрывом от земли противоположной ноги.

Опорный период. Период опоры, при котором тело продолжает двигаться вперед. В последней стадии фазы опоры тело снова выталкивается вперед. Второй безопорный период заканчивается, когда правая нога касается земли и затем тело поворачивается относительно опорной ноги до тех пор, пока она не отталкивается от земли, давая начало новому циклу бега.

От скорости бега зависит, какая часть ступни первой касается земли. При малых скоростях нога ставится на опору с пятки или на всю ступню, а при более высоких скоростях опора начинается с латеральной стороны ступни.

Движения в суставах опорной конечности свидетельствуют, что немедленно после контакта ступни с землей в течение короткого промежутка времени в коленном суставе продолжается сгибание, а в голеностопном происходит тыльное сгибание.

Когда центр тяжести (ЦТ) обгоняет опорную ногу и опорное бедро наклоняется вперед от вертикали, голеностопный сустав сгибается, а в коленном и тазобедренном суставах происходит разгибание, в результате чего ЦТ продвигается в направлении вверх и вперед.

Период опоры при увеличении скорости бега значительно уменьшается. В опорном периоде выделяют фазы амортизации и отталкивания. В фазе отталкивания суставы опорной ноги разгибаются. При беге выявлены вертикальные колебания тела, которые носят волнообразный характер (по движениям головы, таза, центра тяжести).

Отмечено, что в период опоры ЦТ снижается, а в фазе отталкивания – поднимается. Вертикальное снижение во время периода опоры не такое большое, как вертикальное падение в фазе полета.

Маховое движение ноги. Анализ бега спринтеров показывает, что когда маховая конечность движется вперед, то сгибание колена и пронос пятки выполняются бегуном ближе к тазу. Второй характерной чертой является высокий подъем колена; бедро поворачивается до горизонтали перед телом в момент, когда противоположная опорная нога покидает землю. Угол между бедром и горизонталью, проведенной через тазобедренный сустав, становится меньше, когда бедро поднимается ближе к горизонтали.

Движение ноги при беге можно разделить на две фазы. Во время контакта с землей нога поддерживает тело и выталкивает его вперед. После отталкивания нога движется из положения сзади в положение впереди туловища – эта фаза маха (переноса) или фаза возвращения ноги.

Когда стопа касается земли, суставы ноги (тазобедренный, коленный, голеностопный) кратковременно сгибаются, амортизируя приземляющееся тело. Как только тело продвинулось достаточно вперед, конечность разгибается, двигая тело вверх и вперед.

Длительность сгибания и разгибания колена во время периода опоры уменьшается при увеличении скорости. Во время опоры высококвалифицированные бегуны полностью и быстро разгибают тазобедренный сустав, делая это раньше, чем стопа покидает землю (точку опоры, место отталкивания). При максимальном проталкивании высококвалифицированный спортсмен выносит коленный сустав маховой ноги вверх-вперед тела. В начале фазы маха, когда бедро быстро сгибается в тазобедренном суставе, происходит также быстрое сгибание голени в коленном суставе.

Длина и частота шага. Длина шага от отрыва правой ноги до отрыва левой ноги во всех случаях превышала 192 см.

Частота шага увеличивается со скоростью бега, она выше в короткий период начального ускорения, чем при беге на дистанции. Но линейная

зависимость между частотой шага и скоростью бега наблюдается лишь до скорости примерно 6,1 м/с. Увеличение скорости за этой точкой происходило больше за счет частоты, чем длины шага. При одной и той же скорости лучшие бегуны имеют более низкую частоту шагов.

Положение туловища. Наклон корпуса способствует более сильному проталкиванию вперед, вот почему спринтеры стартуют с колодок и низкого старта. Наклон туловища у ряда выдающихся спринтеров в пределах 12–20° с тенденцией уменьшения.

Кинематические факторы бега. Факторы, влияющие на скорость бега, разнообразны. Так, при беге на короткие дистанции важным является стартовое ускорение и поддержание максимальной скорости до конца бега. А при беге на длинные дистанции спортсмен должен бежать со скоростью, которая обеспечит ему возможность сохранить достаточно энергии, чтобы закончить дистанцию.

При беге с определенной скоростью спортсмен выбирает определенную длину и скорость одиночных шагов, так что комбинация этих двух величин создает (определяет) желаемую скорость.

Антропометрические показатели и длина шагов. Длина ног существенно влияет на величину одиночного шага. Отмечена выраженная корреляция между ростом, длиной ноги и величиной одиночного шага.

Энергетический обмен при ходьбе и беге. Организм получает энергию из окружающей среды в виде потенциальной энергии, заключенной в химических связях молекул жиров, углеводов и белков. В результате сложных окислительных процессов образуется энергия.

Выявлено, что 80% энергии, используемой при мышечной деятельности, теряется в виде тепла из-за малой эффективности ее превращения, и только 20% превращается в механическую работу.

Мышечная работа существенно изменяет интенсивность обмена. Так, у спортсменов при кратковременных интенсивных упражнениях, выявлено увеличение метаболизма в 20 раз по сравнению с показателем основного обмена, а при продолжительной работе – в 10 раз.

У людей метаболизм неуклонно меняется с возрастом. У детей он больше, в период полового созревания уменьшается и меньше всего он в старости. Затраты энергии растут с увеличением скорости.

3. БИОДИНАМИКА ПРЫЖКА

Основное назначение прыжка с точки зрения биомеханики – преодоление расстояния полетом. Во всех прыжках со взлетом осуществляют отталкивание, после которого следует полет (собственно прыжок) и после приземления – амортизация.

Подготовка и отталкиванию. Подготовка к отталкиванию в прыжках заключается в переходе в начальное положение отталкивания, а также в необходимых случаях в накоплении кинетической энергии (разбег, разгон). В прыжках на максимальное расстояние в большей части случаев используют кинетическую энергию, накопленную перед отталкиванием.

В легкоатлетических прыжках выполняют разбег. Каков бы ни был разбег, во всех случаях к началу фазы отталкивания принимают наиболее целесообразное *начальное положение*. Это положение, как правило, является мгновенным положением в движении.

Для разбега характерны направление и особенности наращивания скорости. Он обеспечивает накопление кинетической энергии, необходимой для взлета после отталкивания. Но роль разбега не только механическая. Одна из наибольших трудностей разбега для прыгунов – выработка ритма шагов. Шаги разбега, особенно последние, неравной длины. Длина каждого шага, его продолжительность и скорость отклоняются от средней.

Задачи отталкивания в различных видах легкоатлетических прыжков различны, вследствие чего начальное положение отталкивания также бывает различным.

Отталкивание. Отталкивание в прыжках вызывает ускорение ОЦТ тела спортсмена и перемещает его в направлении последующего полета.

В фазе отталкивания выпрямление толчковой ноги (или обеих ног) отдаляет ОЦТ тела спортсмена от места опоры, придает ему кинетическую энергию, необходимую для отрыва от опоры.

Отталкивание ногой почти всегда сопровождается маховыми движениями свободных конечностей (рук и переносной ноги). Эти движения также смещают и ускоряют ОЦТ тела и повышают эффект выпрямления толчковой ноги.

Перед выпрямлением ноги обычно происходит подседание на ней. Из неподвижного исходного положения оно выполняется сначала с увеличением скорости; далее возникает амортизация (погашение совместного действия сил инерции и тяжести) при замедлении подседания. Когда отталкивание следует после приземления (в движении), амортизация, как замедление подседания, происходит с самого момента приземления (контакта с опорой).

Принято амортизацию вместе с выпрямлением ноги включать в фазу отталкивания, хотя, сама амортизация еще не отталкивание, а только служит подготовкой к нему. При амортизации, совершая уступающую работу, растягиваются и напрягаются мышцы, которые потом сокращаются при отталкивании.

Отталкивание обуславливает вертикальную и горизонтальную скорость к моменту отрыва от опоры в различных сочетаниях (различные

углы вылета ОЦТ). После разбега в прыжках в длину, тройном и некоторых других горизонтальная скорость не увеличивается, а уменьшается. В фазе амортизации потери горизонтальной скорости больше, чем последующее ее приращение от выпрямления ноги и маховых движений.

Так называемая стопорящая постановка ноги (под острым углом к опоре) вызывает потери горизонтальной скорости, но помогает созданию вертикальной. Кинетическая энергия тела прыгуна, затраченная на подъем тела вверх, переходит в потенциальную энергию (в гравитационном поле), создается вертикальная скорость подъема тела – стопорящий подъем.

Стопорящая постановка толчковой ноги на опору после разбега, снижая горизонтальную скорость, способствует напряжению мышц толчковой ноги. Кроме того, упругие деформации мышц стопорящей ноги обуславливают накопление и потенциальной энергии упругой деформации. Упругие силы в соответствующее время еще более «подбрасывают» тело вверх.

Во многих прыжках в последующей фазе полета происходят вращения тела спортсмена вокруг осей, проходящих через его ОЦТ. В большей части случаев необходимые начальные вращения создаются уже во время отталкивания. Они происходят вследствие: а) отталкивания ног в направлении не к ОЦТ и б) движений туловища и свободных конечностей.

Согласование движений отталкивания ног, маховых, создающих начальное вращение и стопорящего подъема, зависит от задачи и условий прыжка. Наибольшие усилия ноги, выполняющей отталкивание, приходятся на момент максимума сгибания ее в коленном суставе (граница между подседом и выпрямлением). У мастеров высшей квалификации с этим моментом совпадают максимумы ускорений рук и переносной ноги. Суммарное ускорение ОЦТ, вызванное выпрямлением ноги и маховыми движениями, продолжается на определенном пути. При сохранении усилий увеличение пути ускоренного движения повышает начальную скорость взлета. Это достигается приближением ОЦТ к опоре к началу ускорения (подседание) и наибольшим отдалением его к концу ускорения (к моменту отрыва полное выпрямление толчковой ноги и полный размах маховых движений).

Полет. Фаза полета длится с момента отрыва от опоры толчковой ноги до момента приземления (касания опоры). Спортсмен своими движениями может изменить и вызвать вращения вокруг осей, проходящих через ОЦТ. В полете могут, например, решаться такие задачи: перенести поочередно части тела через препятствие (прыжки в высоту); поднять звенья тела для более позднего приземления (прыжки в длину и

тройной) и другие. Способы подготовки к последующим действиям и сами действия в полете очень разнообразны. Все движения в полете носят характер встречных движений и траектории ОЦТ не изменяют.

Амортизация. Полет заканчивается моментом приземления, после которого возникает амортизация – взаимодействие с опорой.

Опора затормаживают движущееся тело спортсмена; при отрицательном ускорении возникают силы инерции тела спортсмена, направленные по ходу движения. Силы инерции вышерасположенных частей тела действуют на нижерасположенные. Навстречу на тело действуют равные им динамические опорные реакции. Следует еще не забывать также о силах тяжести и равных им статических реакциях опоры.

В результате действия сил с двух сторон происходит деформация тела спортсмена. При этом также деформируются (растягиваются) мышцы; своей уступающей работой они замедляют движение тела вниз. Происходит замедление и остановка движения ОЦТ.

Амортизационная перегрузка зависит от величины кинетической энергии приземляющегося человека и длины пути амортизации. Отдаление ОЦТ от опоры к моменту приземления удлиняет путь амортизации и уменьшает перегрузку.

Если после приземления и амортизации последует вновь отталкивание, то амортизацию выполняют более жестко, на коротком пути. Мышцы-амортизаторы напрягаются больше; закончив амортизацию, они сильнее напряжены и начинают преодолевающие движения с более высоким эффектом (тройной прыжок).

4. БИОДИНАМИКА МЕТАНИЙ

Фазы перемещения тел с разгоном. Исходное стартовое положение определяется точно в тех случаях, когда короток путь наращивания скорости, строго зависящей от всех движений с самого их начала. Таковы, например, исходные положения в толкании ядра. Рассмотрим группу легкоатлетических метаний. Они различаются способами выполнения, зависящими от особенностей снарядов.

Фазы предварительного разгона снаряда. В легкоатлетических метаниях, в какой бы форме ни выполнялся разбег (бег, скачок, поворот) как предварительный разгон снаряда, разбег выполняется в виде совместного разгона со снарядом.

В легкоатлетических метаниях для предварительного разгона снаряда при его сопровождении применяется прямолинейный разбег (бег – в метании копья, скачок – в толкании ядра) и криволинейное движение снаряда с поворотами метателя (метание диска и молота).

Разбег в метании копья не ограничен; практически он составляет около 25 м у женщин и 30 м у мужчин. За 9 м (у женщин), 12 м (у мужчин) выполняют отведение копья – переводят его из положения над плечом в положение сзади. Предпоследний шаг (скрестный) на правую ногу сопровождается поворотом таза вправо.

Разбег при толкании ядра выполняют стоя спиной в направлении толкания от задней части круга (диаметр 213,5 см) скачком на правой ноге. Скачку помогает предварительное подседание на правой ноге и мах левой ногой при отталкивании правой.

При метании диска разбег производят в круге (диаметр 250 см) из положения спиной в направлении метания (удлинится путь разгона). Поворот начинают после предварительного замаха рукой с диском вправо-назад. Во время него происходит стартовое вращение на двух ногах, на левой ноге и собственно поворот. Активная работа ног выводит ось таза вперед относительно оси плеч; происходит обгон звеньев.

Метатель молота выполняет разбег в круге (диаметр 213,5 см) во время предварительного вращения молота вокруг тела и следующих за ним трех или четырех поворотов с одно- и двухопорными фазами в каждом при непрерывном контакте с грунтом и плавном повышении скорости.

Финальный разгон. В финальном разгоне мышцы, максимально растянутые и напряженные, сокращаясь, выполняют выбрасывание (или выталкивание) снаряда, придают ему начальную скорость полета.

Из соответствующей исходной позиции в легкоатлетических метаниях осуществляется финальный разгон. В метании копья он включает сначала поворот таза и переход в положение «натянутого лука». Копье еще больше отстает от выведенного вперед таза. Далее следует сокращение растянутых сгибателей туловища и стремительное выбрасывание копья рукой.

При толкании ядра сначала поворачивают таз влево со скручиванием туловища, затем следует поворот плечевой оси и выталкивание ядра рукой.

При метании диска сначала поворачивается таз влево, обгоняя плечевую ось. Далее продолжается поворот плечевой оси, затем рука догоняет плечевую ось и, наконец, следует выбрасывание диска рукой.

При метании молота в финальном разгоне, как и в предыдущих поворотах, плечевую ось сначала поворачивают налево. Далее, наклоняясь назад, выбрасывают молот.

После выпуска снаряда во всех метаниях выполняют завершающие действия, тормозящие продвижение метателя за планку или край круга.

ТЕМА 2.2 БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛЫЖНОГО СПОРТА

1. КИНЕМАТИКА, ДИНАМИКА И ЭНЕРГЕТИКА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ НА ЛЫЖАХ
2. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ТЕЛО ЛЫЖНИКА
3. БИОДИНАМИКА СТОЕК СПУСКА И СПОСОБОВ ПОДЪЁМА
4. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИНВЕНТАРИУ И ОДЕЖДЕ ЛЫЖНИКА

1. КИНЕМАТИКА, ДИНАМИКА И ЭНЕРГЕТИКА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ НА ЛЫЖАХ

Кинематика лыжных ходов. Используются различные способы передвижения (лыжные ходы), выбор которых зависит от рельефа местности, условий скольжения, уровня подготовленности лыжника. Двигательные действия лыжника носят циклический характер. Цикл делится на временные интервалы – периоды, состоящие из отдельных фаз. Границей между соседними фазами считается момент, когда лыжник находится в строго определенном положении (граничной позе) и начинается выполнение задачи следующей фазы.

Лыжные ходы разделяют по способу отталкивания палками на попеременные и одновременные. По числу шагов в одном цикле выделяют двухшажный, четырехшажный и бесшажный ходы.

Попеременный двухшажный ход применяется на равнинных участках и отлогих склонах (до 2°), а при очень хорошем скольжении – и на подъемах средней крутизны (до 5°).

Одновременный одношажный ход применяется на равнинных участках, на отлогих подъемах при хорошем скольжении, а также на уклонах при удовлетворительном скольжении. В каждом цикле лыжник делает одно отталкивание одновременно двумя палками и одно отталкивание лыжей. В цикле хода выделяют шесть фаз.

Неодновременное выполнение отталкивания ногами и руками обуславливает меньшие перепады внутрицикловой скорости. Отталкивание палками обеспечивает ускорение общего центра масс тела во второй фазе и превышение скорости над среднестанционной в последующей фазе.

В этом способе большее перемещение за цикл (около 7 м) сочетается с невысокой частотой шагов (около 0,75 1/с).

Одновременный двухшажный ход – это такой способ, когда одно отталкивание палками приходится на два отталкивания лыжами – левой и правой. Он экономичнее всех других лыжных ходов (кроме попеременного

четырёхшажного), но не обеспечивает высокой скорости, поэтому высококвалифицированные лыжники им не пользуются.

Одновременный бесшажный ход применяется на равнинных участках и пологих спусках при обычном и хорошем скольжении. Лыжник скользит на двух лыжах, не делая шагов и отталкиваясь одновременно обеими палками. Этот ход используется при скорости не более 7,5–8,0 м/с, так как при более высокой скорости лыжник не успевает отталкиваться палками.

Полный цикл одновременного бесшажного хода состоит из одновременного отталкивания двумя руками и последующего двухопорного скольжения на лыжах.

Попеременный четырёхшажный ход в соревнованиях уже не используют из-за низкой скорости передвижения, но он успешно применяется в туристических походах, когда глубокий снег не позволяет активно отталкиваться палками. Цикл этого хода состоит из четырех скользящих шагов. На первые два шага лыжник поочередно выносит палки вперед, на третий и четвертый шаги делает два попеременных отталкивания палками.

Коньковые способы передвижения широко используются с 1981 г., когда финский лыжник Сиитонен, которому тогда было уже за 40, впервые применил его в соревнованиях (в гонке на 55 км) и выиграл. Лыжи оригинальной конструкции (пластиковые, с металлическими вставками и т. п.) и современные способы подготовки трассы позволяют реализовать преимущества этого хода в скорости, а при равной с классическими ходами скорости – в экономичности. В коньковых способах отталкивание осуществляется скользящей лыжей. При этом практически не играет роли коэффициент сцепления лыжи со снегом. Сила отталкивания уменьшена, а время отталкивания увеличено (около 50% от длительности шага). В результате увеличивается импульс силы, от которой зависит эффективность отталкивания ногой.

К числу наиболее распространенных вариантов конькового хода относятся: одновременный полуконьковый ход (на одно отталкивание руками приходится одно отталкивание ногой), коньковый одновременный двухшажный ход (в цикл хода включаются одновременное отталкивание палками и два шага), коньковый одновременный одношажный ход (одновременное отталкивание обеими руками на каждое отталкивание ногой), коньковый попеременный ход (на каждое отталкивание рукой следует отталкивание одноименной ногой).

При хороших условиях скольжения на равнине при передвижении одновременным полуконьковым ходом длина шага у мужчин составляет 6,5–7,5 м, у женщин – 5,5–6,7 м. В коньковом одновременном двухшажном

ходе длина шага несколько больше – у мужчин 7–8 м. На подъемах крутизной 5° при передвижении коньковым попеременным ходом длина шага 4–5 м, а на подъеме 10° 2,7–3,2 м.

Преимущество конькового хода перед классическими по скорости достигает 15–20%. Крутизна подъема $8–9^\circ$ при хороших условиях скольжения является граничной, когда возможности ходов уравниваются. На более крутых участках выигрышнее подъем скользящим и ступающим шагом, на более пологих – коньковый.

Динамика передвижения на лыжах. Передвигаясь по лыжне, лыжник отталкивается с помощью лыж и палок. При этом на лыжника действуют те же силы, что и на бегуна, и, кроме того, сила трения скольжения. Ее величина равна произведению коэффициента трения скольжения на нормальную (перпендикулярную к лыжне) составляющую силы давления лыжи на снег. Чем меньше коэффициент трения скольжения, тем длиннее шаг и выше скорость при тех же энергозатратах. Для уменьшения коэффициента трения используются лыжные мази. Выбор мази зависит от температуры и состояния лыжни. При правильном подборе мази (что до сих пор является своеобразным искусством) коэффициент трения удается снизить до 0,02–0,04. Силы действия лыжи и палки на снег увеличиваются по мере увеличения скорости и крутизны подъема. Кроме того, величина силы отталкивания зависит от квалификации лыжника.

Величина вертикальной составляющей силы отталкивания ногой колеблется в пределах 1100–1500 Н, а горизонтальной составляющей – 100–180 Н. Сила отталкивания ногой мало различается в классических ходах (одновременном и попеременном). В коньковых способах передвижения сила отталкивания ногой составляет: под носком ботинка – 600 Н, под каблуком – 380 Н (вертикальная составляющая), горизонтальная составляющая – около 200 Н.

Энергетика передвижения на лыжах. Энергетические затраты при передвижении у лыжника зависят от длины дистанции.

Исходя из продолжительности работы, гонки на лыжах относятся к зоне большой (5 и 10 км) и умеренной (15, 20, 30, 50, 70 км и более) относительной мощности. Однако в связи с резкой пересеченностью современных трасс правильнее характеризовать гонки на лыжах как работу переменной мощности.

Оптимальные режимы передвижения на лыжах. Под оптимальными режимами в лыжных гонках понимают оптимальный способ передвижения, оптимальную динамику (раскладку) дистанционной скорости и оптимальное сочетание длины и частоты шагов.

Всего 65 лет назад (в 1924 г.) всерьез обсуждался вопрос о том, как рациональнее преодолевать подъемы: на лыжах или с лыжами в руках. С тех пор сложились определенные представления о рациональных способах передвижения на спусках, равнинных участках трассы и подъемах.

Передвижение на лыжах еще более, чем бег, требует экономии энергии, поскольку лыжник выполняет мышечную работу несколько десятков минут или даже несколько часов подряд. Поэтому для передвижения на лыжах найдены возрастные стандарты наиболее экономичной и пороговой (соответствующей анаэробному порогу) скорости, а также наиболее экономичные сочетания длины и частоты шагов.

При снижении физической работоспособности человека, а также при усложнении условий передвижения на лыжах (увеличении крутизны подъема, коэффициента трения скольжения и т. д.) оптимальная скорость и оптимальная длина шага уменьшаются, а оптимальный темп увеличивается.

2. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ТЕЛО ЛЫЖНИКА

Анализ техники способов передвижения на лыжах проводится на основе законов биомеханики. С точки зрения биомеханики лыжник вместе с лыжами и палками представляет собой единую сложную систему, на которую действует ряд внешних сил. В то же время при движениях в этой системе возникают внутренние силы.

Внутренние и внешние силы постоянно взаимодействуют, обеспечивая перемещение всей биомеханической системы в пространстве и времени. При взаимодействии с внешней средой возникают и действуют на всю систему лыжник – лыжи внешние силы: реакции опоры, сопротивления воздуха и инерции. Кроме этого, на лыжника действует и сила тяжести. К внутренним силам относятся сила тяги мышц, реактивные, инерционные частей тела и упругие силы.

^ **Силы тяги напряженных мышц** являются главными, обеспечивающими движение лыжника. В этом варианте химическая энергия переходит в механическую и обеспечивает работу мышц в преодолевающем режиме. Помимо этого, в уступающем режиме увеличивается напряжение мышц, что вызывает возникновение упругих сил. Это увеличивает скорость в наступающем вслед за этим преодолевающим движением в обратном направлении. Преодолевающая работа мышц обеспечивает все движения лыжника на ровной лыжне и при скольжении в подъем. При недостатках в технике проявляется вредное

влияние мышечных сил при управлении движениями в связи с несвоевременным и ненужным направлением мышц антагонистов.

Силы инерции отталкивания возникают при отталкивании от опоры. В лыжных ходах силы инерции увеличивают в нужный момент давление на снег и улучшают, когда это необходимо, сцепление лыж со снегом. Силы инерции, возникающие при маховых движениях, направлены от опоры при ускоренном перемещении туловища и конечностей. Они способствуют большому напряжению мышц ног и рук при отталкивании, а также усиливают сцепление мышц со снегом и др. При активном замедлении скорости движения сила инерции уже направлена в сторону движения и является движущей силой. Несвоевременное ускоренное перемещение частей тела (например, в свободном скольжении вверх) может вызвать отрицательный эффект в действиях лыжника: увеличивается давление лыж на снег и уменьшение скорости скольжения и длины проката.

Силы реакции опоры возникают при отталкивании и равны по величине и обратны по направлению силе толчка ног. Сила реакции по величине может значительно изменяться от нуля до силы, большей веса тела лыжника более чем в два раза. К концу отталкивания сила давления на опору снижается, приближаясь к нулю.)

Силы трения возникают при взаимодействии лыж со снегом. Сила трения при скольжении зависит от величины нормального давления лыжи на снег, увеличение его приводит и к замедлению скольжения. Сила трения сцепления во многом определяет угол срыва лыжи при отталкивании (проскальзывание). Улучшение сцепления лыж со снегом во многом зависит от применения мази с более высоким коэффициентом сцепления.

Сила тяжести лыжника всегда направлена отвесно и считается приложенной к ОЦТ. На равнине сила тяжести прижимает лыжи к снегу и во многом определяет силу трения, на склонах она может быть разложена на составляющие.

^ При перемещении тела лыжника вверх или вниз в связи с ускорением к силе тяжести прибавляется или вычитается сила инерции. Силы сопротивления воздуха возникают при относительном перемещении лыжника и воздуха. Лобовое сопротивление, возникающее при этом, зависит от площади поперечного сечения тела, перпендикулярной к потоку воздуха, а также от квадрата относительной скорости (лыжника и воздуха) и коэффициента лобового сопротивления. Коэффициент лобового сопротивления зависит от формы тела и его положения относительно потока воздуха. При малых скоростях при передвижении по равнине сопротивлением воздуха можно практически пренебречь (если нет

встречного ветра, достаточно высокой скорости). Но при спусках силы сопротивления воздуха не учитывать нельзя. При попутном ветре, скорость которого равна скорости перемещения лыжника, сопротивление воздуха исчезает. А при более сильном попутном ветре поток воздуха становится уже движущей силой.

3. БИОДИНАМИКА СТОЕК СПУСКА И СПОСОБОВ ПОДЪЕМА

Способы подъема. При передвижении на подъемах лыжник, как известно, попадает под дополнительное, по сравнению с равнинными участками, воздействие сил, которые тормозят движение. Специфическим внешним условиям удовлетворяют следующие способы подъемов: попеременным двушажным классическим, одновременными и попеременным двушажным коньковыми ходами с характерной для подъемов структурой движений; подъем «елочкой»; подъем «полуелочкой»; подъем «лесенкой».

В классическом стиле попеременный двушажный ход является основным способом преодоления подъемов. При этом в фазовой структуре движений происходит ряд существенных изменений, обусловленных сокращением, вплоть до полного исключения, скольжения на лыжах, повышением важности сцепления лыж со снегом, усилением опоры на палки, более вертикальным расположением туловища.

В подъеме «елочкой» полностью отсутствует скольжение лыж. Шаговая «елочка» выполняется ступающим шагом. Квалифицированные спортсмены на всех подъемах, проходимых способом «елочка», используют главным образом прыжковый вариант.

Подъем «полуелочкой» выполняют ступающим шагом с характерным для этого движения разноименным сочетанием работы рук и ног. Лыжи располагают, как в полуконьковом ходе - одну по направлению движения, а вторую под углом, величина которого находится в прямой зависимости от крутизны подъема. При прохождении «полуелочкой» косога одна лыжа оказывается выше другой.

«Лесенка» – наиболее доступный способ преодоления коротких невысоких подъемов для детей и начинающих физически слабо подготовленных лыжников. При подъеме «лесенкой» встают к склону боком. Чтобы исключить соскальзывание, лыжи должны упираться в склон своими верхними кантами. Из такого исходного положения выполняют приставные шаги вверх. Для этого, опираясь на нижнюю палку и отталкиваясь одноименной ногой, отрывают от опоры верхнюю палку, удерживают ее на весу перед собой в согнутой в локтевом суставе руке и делают шаг вверх. Затем переносят вес тела с нижней ноги на верхнюю и

приставляют нижнюю лыжу и нижнюю палку к верхним. Далее движения приставными шагами вверх повторяются. Туловище в течение всего подъема сохраняет почти вертикальное положение.

Подъемы коньковыми ходами популярны среди лыжников разного уровня подготовленности. Для их применения необходимо достаточно широкое (не менее 2 м), хорошо укатанное снежное полотно. В соревнованиях, проводимых классическим стилем, подъемы коньковыми ходами запрещены. На подъемах по мере увеличения крутизны применяют полуконьковый, одновременный одношажный, одновременный двушажный и попеременный коньковые ходы.

Отдельные элементы техники этих ходов выполняют на подъемах иначе, чем на равнине. Закономерное снижение скорости с увеличением крутизны подъема сопровождается следующей динамикой в структуре движений:

- при обязательном сохранении периода скольжения происходит заметное уменьшение длины конькового шага при незначительном повышении частоты движений;
- возрастают угол разведения носков лыж в стороны и связанные с ним поперечные экскурсии тела;
- затрудняется полноценное завершение толчка руками с полным выпрямлением их в локтевом суставе из-за использования более длинных палок по сравнению с классическим стилем;
- происходит сокращение пассивных фаз в цикле хода, маховые движения выполняют менее энергично;
- увеличивается продолжительность двух опорного скольжения; - уменьшаются амплитуда подседания на толчковой ноге и колебания туловища при отталкивании руками;
- в ходах с выраженной асимметрией и асинхронностью двигательных действий (полуконьковый, одновременный двушажный) возрастает разница в степени напряжения одних и тех же групп мышц, расположенных справа и слева.

Оптимальный коньковый ход на подъемах различной длины и крутизны выбирают с учетом индивидуальных показателей технической и физической подготовки лыжника, протяженности дистанции и последовательности расположения на ней подъемов, в зависимости от условий скольжения и качества подготовки снежного полотна трассы, а также с учетом тактических задач, решаемых в конкретных внешних условиях.

Стойки спусков, преодоление неровностей. Двигательная деятельность лыжника-гонщика включает прохождение спусков крутизной до 25-30% со скоростью до 70 км/ч или 20 м/с и более. Плавное

тормозящее воздействие на лыжника при спуске оказывает сила сопротивления встречного потока воздуха, величина которой при постоянной скорости зависит, прежде всего, от стойки лыжника.

Выбор наилучшей стойки существенно зависит от уровня владения горнолыжной техникой и реально сложившейся на спуске ситуации. Наряду с уменьшением силы сопротивления воздуха важной задачей, стоящей перед лыжником при спуске с горы, является сохранение равновесия.

Одним из главных условий сохранения устойчивого положения тела является увеличение площади опоры за счет более широкой постановки лыж (более 30 см в зависимости от крутизны склона и скорости). Наряду с этим важно равномерно распределить массу тела на обе лыжи с таким расчетом, чтобы приложенная к ЦМТ лыжника результирующая всех сил прошла через центр площади опоры, что позволяет сохранить равновесие и обеспечивает управление лыжами.

В зависимости от степени сгибания ног в тазобедренных и коленных суставах и угла наклона туловища принимаемые лыжником при спуске стойки подразделяют на высокие, средние и низкие.

Высокая стойка характеризуется небольшим сгибанием в коленных суставах (около 150°) и почти одинаковым углом наклона туловища и голени. При этом руки опущены и полусогнуты в локтевых суставах, кисти располагают чуть впереди коленей, палки держат обязательно кольцами сзади туловища.

Средняя (основная) стойка обеспечивает наименьшую силу лобового сопротивления за счет несколько большего сгибания ног в коленных суставах (около 130°) и наклона туловища почти параллельно склону. Аэродинамические показатели улучшаются также большим сгибанием рук в локтевых суставах с небольшой подачей их вперед. Кисти по-прежнему удерживают палки кольцами сзади туловища.

Наряду с достижением достаточно высокой скорости положение лыжника в средней стойке создает условия для наиболее полноценного отдыха на спуске по сравнению с другими разновидностями стоек. Вариантом средней стойки является стойка отдыха, при которой лыжник несколько выпрямляет ноги в коленях, увеличивает наклон туловища, опирается предплечьями на бедра и почти соединяет кисти рук.

Низкая стойка предполагает прохождение спуска в низком седе с наибольшим сгибанием ног в коленных суставах и сохранением наклона туловища параллельно склону. Палки прижимаются к туловищу и направлены назад также кольцами к себе. Такое положение лыжника на склоне является неустойчивым и сильно утомляет мышцы ног, а преимущество в скорости достигается не всегда.

Когда неровность поднимает лыжника, он должен присесть и принять низкую стойку. Если неровность опускает его, лыжнику надо встать в более высокую стойку. Такое сочетание приседаний на высоких участках и выпрямлений внизу позволяет, не сбавляя скорость, сохранить равновесие даже при прохождении крупных неровностей.

Задача лыжника при прохождении мелких неровностей в виде уступов, буфов, впадин сводится также к выпрямлению траектории движения ЦТМ тела за счет изменения стойки спуска от низкой до высокой, амортизируя удары, устраняя отрыв лыж от снега, сохраняя управляемость лыжами на высокой скорости.

4. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИНВЕНТАРЮ И ОДЕЖДЕ ЛЫЖНИКА

Требования к экипировке, спортивному инвентарю и оборудованию:

1) Лыжи беговые (гоночные). Длина лыж. Минимальная длина лыж марки. Ширина лыж. Минимальная ширина лыж, измеренная под креплением, может быть 40 мм, максимальная – не ограничивается. Передняя часть лыжи. Минимальная ширина передней части – 30 мм.

Вес. Общий вес пары лыж без креплений – не менее 750 г. Конструкция лыж – нет ограничений.

Форма. Обе лыжи должны иметь одинаковую форму. Нет ограничений в типах конструкций слоев. Нет ограничений по жесткости в любом измерении.

Поверхность скольжения лыжи. По всей длине поверхность скольжения должна быть гладкой или иметь небольшой продольный желоб. За исключением продольного желоба поверхность скольжения по всей ширине и длине должна быть плоской.

Верхняя поверхность лыжи. Нет ограничений. Грани. Боковые кромки не могут быть наклонными с расширением вверх, так чтобы основание лыж становилось уже, чем верхняя поверхность (форма клина не разрешается).

Прочностные свойства. Нет ограничений.

2) Лыжные крепления. Нет ограничений по виду используемого материала или способу производства.

3) Лыжные ботинки. Нет ограничений по виду используемого материала или способу производства.

4) Лыжные палки. Максимальная длина палок не должна быть больше роста спортсмена, измеренная расположением острия палки на лыжу перед креплением. Палка должна иметь фиксированную длину (древко не должно быть телескопическим или складывающимся). Палка не

должна иметь дополнительный источник энергии, усиливающий толчок, например, пружины или другие автоматические устройства. Нет ограничений по весу палок.

Палки могут быть несимметрическими; может быть четкое различие между правой и левой палкой. Рукоять палки должна быть прикреплена к древку. Нет ограничений относительно ее геометрии, конструкции или материала. Петля должна крепиться к рукояти или древку. Она может быть регулируемой по длине и ширине. Ограничений в материале нет.

Нет ограничений по форме и материалу древка и распределению веса. Разрешены сменные корзины (лапки) с различными геометрическими характеристиками и материалами для использования при различных характеристиках снега. Наконечник может крепиться под любым углом к древку. Разрешается один или более наконечников. В материалах нет ограничений.

5) Одежда. Прокладка допускается только с внутренней стороны одежды гонщика. Общая толщина прокладки, ткани и прокладки гоночной одежды не может превысить 6 мм при измерении одежды в несжатом состоянии, кроме спины костюма, где переносится винтовка. Ограничений по подкладке на спине нет. Никакие клейкие материалы, например, липучая ткань, мазь, смола, клей или дополнительные нашивки (за исключением крепления прокладки) не допускаются на внешней стороне одежды. Однако материал внешней стороны локтей может быть сделан из нескользящего материала.

Одежда для лыжников должна состоять из трех слоев. Первый **слой**, прилегающий к телу, должен быстро отводить влагу, не намокая. При этом белье должно "дышать". Современные ткани "дышат", при этом быстро высыхают и не дают размножаться бактериям, которые создают неприятный запах пота. Кроме этого, ткани нижнего слоя должны быть гипоаллергенны, не вызывать аллергии при соприкосновении с кожей.

Второй слой должен выводить влагу наружу, а внешнюю влагу (дождь, снег) - не пропускать внутрь. С этой целью используются ткани с различными сочетаниями полиэфира, полиэстера, полиамида и т.д. с эластаном, лайкрой. Добавление лайкры или эластана не только делает костюм облегчающим, но и более износостойким. Сверху ткань может быть покрыта специальным покрытием Teflon, что обеспечивает максимальную водо- и влагопроницаемость при сохранении естественной вентиляции.

Внешний слой (третий) – из высокотехнологичных ветрозащитных тканей из микроволокна на сетчатой основе. Поэтому лыжник в специализированной одежде не потеет, ему не холодно, и, его не продувает ветер.

ТЕМА 2.3 БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГИМНАСТИКИ

1. РАВНОВЕСИЕ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА
2. ДВИЖЕНИЯ НА МЕСТЕ
3. ДВИЖЕНИЯ ПРИ ВЕРХНЕЙ ОПОРЕ
4. ДВИЖЕНИЯ ПРИ НИЖНЕЙ ОПОРЕ
5. ДВИЖЕНИЯ ВОКРУГ ОСИ И ПЕРЕМЕЩАЮЩИЕ ДВИЖЕНИЯ

1. РАВНОВЕСИЕ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Условия равновесия системы тел. Для равновесия тела человека (системы тел) необходимо, чтобы главный вектор и главный момент внешних сил были равны нулю, а все внутренние силы обеспечивали сохранение позы (формы системы).

Если главный вектор и главный момент равны нулю, *тело* не сдвинется и не повернется, его линейное и угловое ускорения равны нулю. Для *системы, тел* эти условия также необходимы, но уже недостаточны. Равновесие тела человека как системы тел требует еще *сохранения позы* тела. Когда мышцы достаточно сильны и человек умеет использовать их силу, он удержится в очень трудном положении. А менее сильному человеку такой позы не удержать, хотя по расположению и величине внешних сил равновесие возможно. У разных людей существуют свои *предельные позы*, которые они еще в состоянии сохранять.

Виды равновесия твердого тела. Вид равновесия твердого тела определяется по действию силы тяжести в случае сколь угодно малого отклонения: а) безразличное равновесие – действие силы тяжести не изменяется; б) устойчивое – оно всегда возвращает тело в прежнее положение (возникает момент устойчивости); в) неустойчивое – действие силы тяжести всегда вызывает опрокидывание тела (возникает момент опрокидывания); г) ограниченно-устойчивое – до потенциального барьера положение тела восстанавливается (возникает момент устойчивости), после него тело опрокидывается (возникает момент опрокидывания).

В физических упражнениях чаще всего встречается еще один вид равновесия, когда имеется площадь опоры, расположенная внизу (нижняя опора). При незначительном отклонении тела центр его тяжести поднимается ($+\Delta h$) и появляется момент устойчивости ($M_{уст} = Gd$). Налицо признаки устойчивого равновесия; момент силы тяжести тела вернет его в прежнее положение. Но это продолжается лишь при отклонении до определенных границ, пока линия тяжести не дойдет до края площади опоры. В этом положении уже возникают условия неустойчивого

равновесия: при дальнейшем отклонении тело опрокидывается; при малейшем отклонении в обратную сторону – возвращается в прежнее положение. Границе площади опоры соответствует вершина «потенциального барьера» (максимум потенциальной энергии). В пределах между противоположными барьерами («потенциальная яма») во всех направлениях осуществляется *ограниченно-устойчивое равновесие*.

2. ДВИЖЕНИЯ НА МЕСТЕ

Движения на месте характеризуются наличием неизменной опоры и соблюдением условий равновесия. Эта группа движений тесно связана с сохранением положения тела; звенья, находящиеся в контакте с опорой, не изменяют своего положения. В то же время в группе движений на месте проявляются многие закономерности, свойственные всем движениям человека.

Закономерности перемещения оцт при постоянной опоре. При любом движении человека перемещаются друг относительно друга звенья тела, перемещаются их центры тяжести и почти всегда ОЦТ (и совпадающий с ним центр масс). Перемещение ОЦТ происходит в соответствии с законами сохранения движения.

Сохранение и изменение движения центра масс системы. Закон сохранения движения центра масс системы (ЦМС): если главный вектор сил, действующих на систему, равен нулю, то движение ЦМС сохраняется неизменным. Из закона сохранения движения ЦМС следует вывод: для изменения движения ЦМС необходимо приложить к системе внешние силы.

Если внешние силы отсутствуют или взаимно уравновешены (главный вектор равен нулю), движение не изменяется. Но, если главный вектор не равен нулю, скорость ЦМС изменяется.

При активных движениях человека на месте возникает и изменяется движение ЦМС, – значит, приложены внешние силы, без которых оно невозможно. Следовательно, всякое изменение скорости ЦМС (по величине и направлению) – свидетельство приложения внешних сил.

Взаимодействие опоры, опорных и подвижных звеньев. Для изменения движения ЦМ подвижных звеньев и перемещаемых тел необходимо приложение внешних для них сил; это могут быть и внутренние относительно тела человека силы и внешние.

В движениях на месте опора неизменна, есть и *опорные звенья*, имеющие связь с опорой. Опорные звенья обычно неподвижны относительно опоры (стопы при стоянии на полу; кисти при захвате перекладины в виси). Другие звенья тела движутся относительно опорных

звеньев тела и опоры; это *подвижные звенья*. Они могут быть связаны с перемещаемыми телами (например, гантелями, штангой).

Взаимодействие подвижных и опорных звеньев измеряется внутренними для человека силами. Действие на опорные звенья самой опоры – это внешняя для всего тела сил a . К внешним же силам относится действие перемещаемых тел на подвижные звенья. Для каждого из звеньев действие на него соседних звеньев, опоры или перемещаемых тел есть проявление внешних для данного звена сил.

Таким образом, при движениях человека на месте возникает и изменяется движение ОЦТ тела человека, как следствие приложения к звеньям тела неуравновешенных внешних относительно звеньев сил.

Роль реактивных внешних сил. Реактивные внешние силы (нормальные опорные реакции, силы трения) при движениях на месте уравнивают действие подвижных звеньев на опорные. Эти силы сами изменяются соответственно ускорениям подвижных звеньев и перемещаемых тел.

При движениях подвижных звеньев и перемещаемых тел возникают их ускорения и силы инерции противоположного направления. Когда силы инерции направлены в сторону опоры, они вызывают динамическую составляющую опорной реакции; последняя складывается со статической составляющей опорной реакции и общая опорная реакция больше статической. Когда силы инерции имеют направление от опоры, опорная реакция уменьшается на величину сил инерции – общая опорная реакция меньше статической.

Таким образом, движения на месте сопровождаются изменениями внешних реактивных сил вследствие действия на опору сил инерции ускоряемых звеньев.

Сохранение и изменение количества движения системы. Закон сохранения количества движения: в изолированной материальной системе количество движения остается неизменным. Если $F=0$, то $mv=const$.

Первый вывод из этого закона подтверждает то, что уже известно из закона сохранения движения ЦМС: без внешней силы не может быть изменения движения ЦМС. О том же говорят 1-й и 2-й законы Ньютона.

Преодолевающие и уступающие движения. В преодолевающих движениях тяга мышц направлена в сторону движения звена, в уступающих – в противоположную сторону.

Движения человека могут выполняться с преодолевающей (положительной) работой мышц. Мышцы укорачиваются, преодолевая силы сопротивления, приложенные к звеньям (например, жим штанги). Такие движения ранее называли активными, пассивными – движения, выпол-

няемые без сокращения мышц, например при помощи внешних для человека сил.

Источниками движущих сил в уступающих движениях могут быть любые силы, а тормозящими служат преимущественно тяги мышц-антагонистов.

Деление на преодолевающие и уступающие движения условно. И в преодолевающем движении могут тормозить мышцы-антагонисты. И в уступающем движении в числе движущих сил могут оказаться и мышечные тяги. Очень часто движение, начавшееся как преодолевающее, заканчивается как уступающее; мышцы, разогнавшие звено, в определенный момент выключаются, а мышцы-антагонисты, включившись, затормаживают движение, действуя против возникающих при торможении сил инерции (движение свободной ноги в беге).

Обеспечение равновесия. Движения на месте выполняются с неизменной опорой и сохранением равновесия, подвижные звенья движутся так, что ОЦГ остается в пределах зоны сохранения положения, в крайнем случае – зоны восстановления положения.

Фазовая структура движений на месте. В различных движениях на месте могут быть различные фазовый состав и структура системы движений. Можно выделить типичные фазы и их взаимосвязь, которые встречаются как в движениях на месте, так и в других группах движений.

Фазы разгона и торможения. По характеру движений на месте различают фазы разгона и торможения; между ними иногда наблюдается фаза относительно равномерного движения. В зависимости от задачи движения делятся на подготовительную, основную и завершающую фазы.

При разгоне скорость рабочей точки растет; при торможении она уменьшается. Характер ее изменения зависит от задачи движения, от формы траекторий точек звеньев, от многих конкретных условий.

Даже неторопливое движение из состояния покоя начинается с подготовительных изменений в движущихся, а также и в опорных звеньях. Возникает опережающее напряжение антагонистов, которые своей тягой как бы «заряжают», готовят к активности мышцы-синергисты. Наблюдается иногда возвратное микродвижение типа замаха. В иных случаях эта **подготовительная фаза** выражена очень отчетливо (например, при начале жима штанги из положения ее на груди).

После выполнения задания движение нередко не прекращается; звенья продолжают движение по инерции, но с торможением (например, после выпуска снаряда при метании). Кроме того, бывает необходимо принять новое исходное положение для следующего движения, что выполняется движением или возвратного, или иногда совершенно иного характера. Это – **завершающая фаза**. Выполнение задачи всего движения

происходит после подготовительной фазы и перед завершающей, это – **основная фаза.**

Граничные позы и их роль. Граничные позы – мгновенные положения тела в момент смены фаз. Они служат исходными положениями для последующих и конечными положениями для предыдущих фаз.

Мгновенное (промежуточное) положение характеризуется *граничной позой*. Эта поза служит границей между фазами разгона и торможения. Для первой она служит конечным положением, для второй – исходным положением, от которого во многом зависит успешность выполнения торможения. В сложных спортивных действиях, в которых сменяются последовательные фазы, граничные позы служат показателями успешности хода выполнения движения. Граничные позы поэтому часто служат своего рода пунктами технического контроля и самоконтроля спортсмена.

Виды движений на месте. Движения на месте различают по **отношению тела к опоре** (верхняя и нижняя опора), по **направлению** движения (вверх или вниз) и по **характеру движений** (преодолевающие и уступающие). Возможны различные сочетания этих признаков, а также направление движения не только по вертикали. Движения на месте как самостоятельные упражнения применяются не очень часто. Но движения на месте как фазы сложных действий встречаются нередко.

3. ДВИЖЕНИЯ ПРИ ВЕРХНЕЙ ОПОРЕ

При верхней опоре возможны движения по способу притягивания к опоре (преодолевающие движения) и с отдалением от опоры (уступающие движения).

Механизм притягивания. Возбужденная мышца напрягается и, если может преодолеть сопротивление, сокращается, сближая места прикрепления. Сближаются и два звена, соединенные мышцей. Притягивание – способ совершения мышцами положительной работы.

При верхней опоре человек обычно имеет удерживающую связь с закрепленным физическим телом (подвес). Звенья, соединенные с подвесом (гимнастическим снарядом, уступом скалы и т. п.), – **опорные**. При движениях на месте они чаще всего остаются неподвижными. Остальные звенья тела – **подвижные**, они перемещаются относительно опорных. Опорными звеньями служат обычно кисти рук (при захвате пальцами); в спортивной гимнастике опорными звеньями могут служить почти все части тела.

Движение по способу притягивания происходит благодаря увеличению напряжения мышц, которые ускоряют своей тягой подвижные

звенья, сближают их с опорными. Одновременно возникают силы инерции ускоряемых звеньев и динамическая составляющая опорной реакции, которая противодействует тяге мышц, передаваемой через опорные звенья.

Уступающие движения при верхней опоре. По действием внешних сил тело человека может совершать уступающие движения, отдаляясь от опоры.

При уступающем отдалении тела от верхней опоры уменьшается напряжение мышц. Возникает избыток силы веса над силой тяги мышц. Направленное вниз ускорение подвижным звеньям придает сила – разность между весом тела и силами тяги мышц вверх. Если бы весь вес тела вызывал ускорение, то было бы свободное падение подвижных звеньев вниз.

Под действием ускоряющей силы подвижные звенья, опускаясь, растягивают мышцу. Работа, которую она совершает на пути своего действия, отрицательная, поскольку направлена в сторону, противоположную движению. Положительную работу совершает избыток веса подвижных звеньев над тягой мышцы, приложенной к рычагам.

Уступающее движение под действием веса как постоянной силы происходит вследствие уменьшения напряжения мышцы. Ускоряющей силой служит избыток веса над силой тяги мышцы. При ускорении возникает сила инерции (направлена вверх) и уменьшается общая опорная реакция.

Подтягивание в виси и опускание. Первая часть этого движения происходит по механизму притягивания к верхней опоре. В исходном положении руки вытянуты вверх, то пояс верхних конечностей поднят вверх, лопатки отведены от позвоночника и повернуты нижними углами вперед. Ключицы с лопатками при подтягивании будут опускаться тягой мышц: широчайших спины и больших грудных, приводить и поворачивать лопатки будут ромбовидные.

В обоих движениях участвуют нижние части трапециевидных мышц. Одновременно широчайшие спины и трехглавые плеча разгибают плечи, а двуглавые плеча и другие сгибатели сгибают предплечья.

Опускание в положение виси выполняется при уступающей (отрицательной) работе тех же самых мышц с перемещением подвижных звеньев в обратном направлении. При уступающей работе мышцы в состоянии развить большее напряжение, чем при преодолевающей. Поэтому уступающее движение при том же отягощении выполнить легче.

4. ДВИЖЕНИЯ ПРИ НИЖНЕЙ ОПОРЕ

При нижней опоре возможны отталкивание от опоры (преодолевающие движения) и приближение к опоре (уступающие движения).

Механизм отталкивания. При отдалении звеньев друг от друга силой тяги мышцы места ее прикрепления сближаются; приближение одного конца двуплечего рычага сопровождается отдалением другого его конца. Отталкивание – способ совершения мышцами положительной работы.

Так же как и в механизме притягивания, опорная реакция как внешняя сила необходима, но она не вызывает движения. Человек и при отталкивании, как и при притягивании, *самодвижущаяся система*. Источник энергии движения внутренний. Тело человека – не твердое тело, которое может перемещаться только под действием внешней силы; оно представляет собой систему тел, каждое из которых изменяет положение под действием всех приложенных к нему сил.

Таким образом, при активных движениях человека не существует одной единственной силы, движущей все его звенья как систему тел.

Уступающее приближение к опоре. Как и в случае уступающего отдаления от верхней опоры, при уступающем приближении к нижней опоре мышцы совершают работу под действием верхних звеньев тела. Избыток веса над действием тяги мышц служит ускоряющей силой, приближающей тело к опоре. Как и при каждом ускорении, возникают силы инерции и изменяется опорная реакция.

Сгибание и выпрямление рук в упоре лежа. Рассмотрим в качестве примера движений при нижней опоре сгибание и выпрямление рук в упоре лежа. Движение вниз ОЦТ тела при нижней неударивающей опоре может осуществляться под действием силы тяжести только подвижных частей тела. Голова, шея, туловище и ноги фиксированы во всех суставах напряжением мышц-антагонистов и движутся как вниз, так и вверх как единое целое. Лопатки фиксированы относительно грудной клетки. Основные движения в суставах при сгибании рук – разгибание в плечевых и сгибание в локтевых и лучезапястных – протекают при уступающей работе мышц-антагонистов.

Выпрямление рук в упоре лежа представляет собою преодолевающее движение, протекающее с сокращением мышц, ранее выполнивших уступающую работу. Теперь они совершают положительную преодолевающую работу. Вследствие малой скорости движения (около 0,5 м/сек) и относительно большой длительности (около 2 сек.) ускорения, а значит, и силы инерции будут невелики.

5. ДВИЖЕНИЯ ВОКРУГ ОСИ И ПЕРЕМЕЩАЮЩИЕ ДВИЖЕНИЯ

Движения вокруг оси широко представлены в физических упражнениях (вращательные упражнения в гимнастике, акробатике и др.). В движениях тела человека в пространстве всегда имеются оси вращения, вокруг которых движутся звенья тела. При переменном радиусе вращения – это сложное движение, которое рассматривают как вращательное вокруг оси и поступательное вдоль радиуса вращения.

Источник центростремительного ускорения. Удерживающее тело, действуя на вращающееся, искривляет траектории его точек по направлению к центру. Действие удерживающего тела измеряется центростремительной силой, вызывающей центростремительное ускорение.

При криволинейном движении направление вектора линейной скорости точки тела непрерывно изменяется. Причина этого ускорения – поворачивающая центростремительная сила.

Оси вращения. Ось вращения может быть закрепленной, связанной с удерживающим телом, и свободной, когда нет внешнего удерживающего тела (в свободном полете).

Ось вращения нередко представляет собой внешнее для человека материальное тело, закрепленное неподвижно. Гимнаст, например, держится за гриф перекладины непосредственно, имеет с ним прямой контакт. Линия, проходящая через точки подвеса гимнастических колец, также является закрепленной внешней осью; гимнаст с нею связан уже не непосредственно, а через тросы колец. Но в обоих случаях это закрепленные внешние оси.

При вращении всего тела спортсмена в свободном полете ось вращения проходит через ОЦТ тела, но ни с каким внешним телом не связана. Она движется с ОЦТ по любой его траектории. Ось вращения тела человека, не имеющего опоры, свободная.

Взаимодействие вращающегося и удерживающего тел.

Центростремительная сила – это мера действия удерживающего тела на вращающееся. Она вызывает искривление траектории в зависимости от массы, скорости и радиуса вращения. Центробежная сила (инерции) – противодействие вращающегося тела искривлению его траектории – приложена к удерживаемому телу. Обе силы приложены к разным телам, и поэтому не уравновешивают одна другую.

Центробежная сила всего тела равна сумме центробежных сил всех его частиц. Центростремительная сила больше, если у вращающегося тела масса больше, поворот круче и особенно если велика скорость вращения (квадратичная зависимость).

В биомеханической системе при вращении действуют многочисленные центробежные и центроостремительные силы частей тела, его органов и тканей (в том числе и жидких). В результате возникают деформации и напряжение. Когда центробежные ускорения больше, увеличиваются напряжения тканей, передающих нагрузки (мышцы, суставно-связочный аппарат), и деформации.

Следовательно, в теле человека центробежные силы, направленные к его оси вращения, могут, изменяя позу, уменьшать радиус вращения (группирование), тогда простое движение (вращательное) превращается в сложное (одновременно вокруг оси и вдоль радиуса),

Способы управления движениями биомеханической системы вокруг осей. Способы управления движениями всей биомеханической системы вокруг осей в целом и для ее частей делятся на две группы: а) с изменением кинетического момента системы и б) с сохранением кинетического момента системы.

Способы управления движениями биомеханической системы вокруг оси можно свести к следующим.

С изменением кинетического момента системы:

1) приложением внешней силы (импульса момента) ускорение или замедление вращения всего тела при сохранении позы;

2) изменением условий действия внешней силы (приближение к закрепленной оси и отдаление от нее) ускорение или замедление вращения всего тела;

3) активным созданием момента внешней силы (отталкивание от опоры или притягивание к ней) ускорение или замедление вращения всего тела.

С сохранением кинетического момента системы:

4) группированием и разгруппированием (приближение к свободной оси и отдаление от нее) ускорение и замедление вращения всего тела;

5) скручиванием и раскручиванием тела вокруг продольной оси (одновременный встречный поворот) изменение ориентации частей тела в пространстве;

6) круговыми движениями конечностей и изгибаниями туловища создание сложного вращения всего тела.

В конкретных задачах и условиях их выполнения часто применяются сочетания разных способов изменения вращения биомеханической системы.

Управление вращением тела. Вращательные упражнения различают прежде всего по отношению тела к опоре. От связи с опорой зависит, имеются ли обусловленные ею внешние силы, изменяющие вращение, закреплена ли ось вращения. Поэтому данную группу

упражнений делят на упражнения при опоре и без опоры (в полете). При анализе этих упражнений очень важно учитывать законы движений вокруг оси, относящиеся к сочетанию вращательного движения (вокруг оси вращения) с поступательным (вдоль радиуса вращения). Вращательные упражнения широко распространены в спортивной технике. Элементы их встречаются почти в каждом спортивном упражнении.

Повороты. Сложность поворотов далеко не всегда определяется их величиной, хотя при прочих равных условиях такая зависимость проявляется очень четко. Сложность может быть координационного плана, она может заключаться в сохранении устойчивости тела, в ограниченности времени выполнения, в большом силовом запросе.

Сложности координационного плана появляются тогда, когда нет хорошей опоры для развития необходимого вращающего момента либо когда поворот приходится выполнять на фоне другого частного действия.

Очень часто выполнить сам по себе поворот несложно, но трудно сохранить устойчивость тела во время поворота и после него. Таковы повороты в сложных равновесиях (на руках, на одной ноге, на ограниченной опоре), в быстром движении, в прыжке, заканчиваемом статическим положением, особенно сложным равновесием.

Угловой скоростью тела можно управлять путем изменения его момента инерции относительно оси вращения:

Выполнение безопорных поворотов без переворачивания (в прыжке, в соскоке) может быть основано на трех различных механизмах. Первый – «закручивание» (сообщение вращательного импульса) от опоры, как при опорном повороте. Второй (поворот туловища на угол менее 180°) – широкое разведение ног и рук, момент инерции которых относительно продольной оси тела в этом случае много больше, чем у туловища: поворот туловища влечет за собой лишь небольшой, противоположно направленный поворот ног и рук. Третий механизм – последовательное круговое сгибание тела: так называемые конусообразные движения ногами и туловищем в одном направлении, позволяющие в соответствии с законом сохранения кинетического момента повернуть ноги и туловище вокруг их продольных осей в противоположную сторону. Так удается совершить поворот на угол до 360° , если времени для этого достаточно.

Переворачивания. Переворачивания делятся на **опорные** (без потери контакта с опорой: перекаты, кувырки, перевороты, переворачивания с полной поддержкой партнера), **безопорные** (основная часть их совершается в безопорном состоянии: сальто, опорные прыжки с переворачиванием, соскоки с переворачиванием), **опорно-безопорные** (основная часть их совершается в опорном состоянии, но имеются и безопорные фазы: перевороты с фазой полета, переворачивания с

частичной поддержкой партнером, соскоки с опорным – в основном – переворачиванием).

При выполнении опорно-безопорных переворачиваний решающую роль играют опорные периоды, во время которых спортсмен сообщает телу нужные количество движения и кинетический момент.

В опорной части опорно-безопорного переворачивания часто выгодны маховые движения и *большой* момент инерции тела относительно центральной оси: так удастся накопить большой кинетический момент.

Выполняя переворачивание, спортсмен вынужден согласовывать между собой четыре параметра: приобретенный телом перед отрывом от опоры кинетический момент, время от момента прекращения контакта с опорой до приземления, главный момент инерции тела и необходимый угол поворота тела.

При выполнении многократных переворачиваний и переворачиваний с поворотом на большой угол очень трудно обеспечить нужное положение тела в момент приземления. Чтобы справиться с этой трудностью, необходимо научиться очень точно определять момент приземления по общему времени полета, а также зрительно контролировать ориентацию в пространстве и положение своего тела в безопорном периоде.

ТЕМА 2.4 БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СПОРТИВНЫХ ИГР

- 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ УДАРА**
- 2. ФАЗЫ И ВИДЫ УДАРНЫХ ДЕЙСТВИЙ**
- 3. БИОДИНАМИКА БРОСКА МЯЧА В БАСКЕТБОЛЕ И ГАНДБОЛЕ**
- 4. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УДАРА ПО МЯЧУ В ВОЛЕЙБОЛЕ И ФУТБОЛЕ**

1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ УДАРА

Ударом в механике называется кратковременное взаимодействие тел, в результате которого резко изменяются их скорости. При таких взаимодействиях возникают столь большие силы, что действием всех можно пренебречь.

Примерами ударов являются:

- удары по мячу, шайбе. В данном случае происходит быстрое, изменение скорости по величине и направлению. Подобные удары с последующим отскоком часто встречаются в перемещающих спортивных движениях;

- приземление после прыжков и соскоков (скорость тела спортсмена резко снижается до нуля). Особенно целесообразно рассматривать приземление как удар, если оно происходит на выпрямленные ноги или связано с падением;

- вылет стрелы из лука, акробата в цирке с подкидной доски и т.п. Здесь скорость до начала взаимодействия равна нулю, а затем резко возрастает.

Изменение ударных сил во времени происходит примерно так. Сначала сила быстро возрастает до наибольшего значения, а затем падает до нуля. Максимальное ее значение может быть очень большим. Однако основной мерой ударного взаимодействия является не сила, а ударный импульс.

За время удара скорость мяча, изменяется на определенную величину. Это изменение прямо пропорционально ударному импульсу и обратно пропорционально массе тела. Другими словами, ударный импульс равен изменению количества движения тела.

Последовательность механических явлений при ударе такова: сначала происходит деформация тел, при этом кинетическая энергия движения переходит в потенциальную энергию упругой деформации, затем потенциальная энергия переходит в кинетическую. В зависимости от того, какая часть потенциальной энергии переходит в кинетическую, а какая рассеивается в виде тепла.

2. ФАЗЫ И ВИДЫ УДАРНЫХ ДЕЙСТВИЙ

Различают три вида удара:

1. Вполне упругий удар – вся механическая энергия сохраняется. Таких ударов в природе нет (всегда часть механической энергии при ударе переходит в тепло). Однако в некоторых случаях удары, например удар бильярдных шаров, близки к вполне упругому удару.

2. Неупругий удар – энергия деформации полностью переходит в тепло. Пример: приземление в прыжках и соскоках, удар шарика из пластилина в стену и т. п. При неупругом ударе скорости взаимодействующих тел после удара равны (тела объединяются).

3. Не вполне упругий удар – лишь часть энергии упругой деформации переходит в кинетическую энергию движения.

Ньютон предложил характеризовать не вполне упругий удар как называемым *коэффициентом восстановления*. Он равен отношению скоростей взаимодействующих тел после и до удара.

Коэффициент восстановления зависит от упругих свойств соударяемых тел. Например, он будет различен при ударе теннисного мяча о разные грунты и ракетки разных типов и качества.

Зависит коэффициент восстановления и от скорости ударного взаимодействия: с увеличением скорости он уменьшается. Например, по международным стандартам теннисный мяч, сброшенный на твердую поверхность с высоты 2 м 54 см (100 дюймов), должен отскакивать на высоту 1,35–1,47 м (коэффициент восстановления 0,73–0,76). Но если его сбросить, скажем, с высоты в 20 раз большей, то даже без сопротивления воздуха отскок возрастет меньше чем в 20 раз.

В зависимости от направления движения мяча до удара различают прямой и косой удары; в зависимости от направления ударного импульса - центральный и касательный удары.

При прямом ударе направление полета мяча до удара перпендикулярно к плоскости ударяющего тела или преграды. Пример: падение мяча сверху на горизонтальную поверхность. В этом случае мяч после отскока летит в обратном направлении.

При косом ударе угол сближения (рис.) отличен от нуля. При идеальном упругом ударе углы сближения и отскока равны. При реальных (не вполне упругих) ударах угол отскока больше угла сближения, а скорость после отскока от неподвижной преграды меньше, чем до удара.

Центральный удар характеризуется тем, что ударный импульс проходит через ЦМ мяча. В этом случае мяч летит не вращаясь. При касательном ударе ударный импульс не проходит через ЦМ мяча – мяч после такого удара летит с вращением. Как уже отмечалось, вращение мяча изменяет траекторию его полета. Изменяет оно также отскок мяча. Например, в настольном теннисе поступательная скорость крученого мяча (шарика) после отскока нередко выше, чем до соприкосновения со столом: часть кинетической энергии вращения переходит в энергию поступательного движения.

Ударными в биомеханике называются действия, результат которых достигается механическим ударом. В ударных действиях различают:

1. Замах – движение, предшествующее ударному движению и приводящее к увеличению расстояния между ударным звеном тела и предметом, по которому наносится удар. Эта фаза наиболее вариативна.
2. Ударное движение – от конца замаха до начала удара.
3. Ударное взаимодействие (или собственно удар) – столкновение ударяющихся тел.
4. Послеударное движение – движение ударного звена тела после прекращения контакта с предметом, по которому наносится удар.

При механическом ударе скорость тела (например, мяча) после удара тем выше, чем больше скорость ударяющего звена непосредственно перед ударом. При ударах в спорте такая зависимость необязательна. Например, при подаче в теннисе увеличение скорости движения ракетки может привести к снижению скорости вылета мяча, так как ударная масса при ударах, выполняемых спортсменом, непостоянна: она зависит от координации его движений.

Если выполнять удар за счет сгибания кисти или с расслабленной кистью, то с мячом будет взаимодействовать только масса ракетки и кисти. Если же в момент удара ударяющее звено закреплено активностью мышц-антагонистов и представляет собой как бы единое твердое тело, то в ударном взаимодействии будет принимать участие масса всего этого звена.

Иногда спортсмен наносит два удара с одной и той же скоростью, а скорость вылета мяча или сила удара оказывается различной. Это происходит из-за того, что ударная масса неодинакова. Величина ударной массы может использоваться как критерий эффективности техники ударов.

Этот показатель различен в ударах разных типов. Например, в футболе он изменяется от 1,20 до 1,65. Зависит, он и от веса спортсмена.

Некоторые спортсмены, владеющие очень сильным ударом (в волейболе, футболе и др.), большой мышечной силой не отличаются. Но они умеют сообщать большую скорость ударяющему сегменту и в момент удара взаимодействовать с ударяемым телом большой ударной массой.

Многие ударные спортивные действия нельзя рассматривать как «чистый» удар. В теории удара в механике предполагается, что удар происходит настолько быстро и ударные силы настолько велики, что всеми остальными силами можно пренебречь. Во многих ударных действиях в спорте эти допущения не оправданы. Время удара в них хотя и мало, но все-таки пренебрегать им нельзя; путь ударного взаимодействия, по которому во время удара движутся вместе соударяющиеся тела, может достигать 20–30 см.

Поэтому в спортивных ударных действиях можно изменить количество движения во время соударения за счет действия сил, не связанных с самим ударом.

Координация движений при максимально сильных ударах подчиняется двум требованиям:

- 1) сообщение наибольшей скорости ударяющему звену к моменту соприкосновения с ударяемым телом. В этой фазе движения используются те же способы увеличения скорости, что и в других перемещающих действиях;

- 2) увеличение ударной массы в момент удара. Это достигается «закреплением» отдельных звеньев ударяющего сегмента путем

одновременного включения мышц-антагонистов и увеличения радиуса вращения.

Время удара настолько кратковременно, что исправить допущенные ошибки уже невозможно. Поэтому точность удара в решающей мере обеспечивается правильными действиями при замахе и ударном движении. Например, в футболе место постановки опорной ноги определяет у начинающих целевую точность примерно на 60–80%.

Тактика спортивных игр нередко требует неожиданных для противника ударов («скрытых»). Это достигается выполнением ударов без подготовки (иногда даже без замаха), после обманных движений (финтов) и т. п. Биомеханические характеристики ударов при этом меняются, так как они выполняются в таких случаях обычно за счет действия лишь дистальных сегментов (кистевые удары).

Исследования координационной структуры ударных движений направленных, на проявления максимальной силы, проведенные впервые Л.В. Чхаидзе (1939) выявили следующие положения:

1. Для достижения максимально сильных ударов необходимо сообщить наибольшую скорость ударяющему звену (стопе в футбольном ударе, кисти в теннисе) к моменту соприкосновения с ударяемым телом. В случае удара рукой или ногой конечность представляет собой ударный рычаг. У длинного рычага окружная скорость рабочей точки больше, чем у короткого. При большем размахе ударного движения путь приложения ускоряющих усилий больше, что позволяет развить к концу движения более высокую скорость.

2. Удар становится сильнее с увеличением ударной массы в момент взаимодействия ударных тел. Биомеханический механизм увеличения ударной массы проявляется в "закреплении" отдельное звеньев ударяющего сегмента путем одновременного включения мышц антагонистов и увеличения радиуса вращения. Кроме увеличения массы при соударении тел механизм "закрепления" звена мышцами антагонистами имеет и биологическое значение предупреждения травм суставов. Было замечено отрицательное ускорение, вызываемое мышцами антагонистами, еще до явления удара.

Таким образом предупреждается излишняя амортизация в сочленениях ударяющего звана. Увеличение радиуса вращения ударяющего звена играет существенную роль в силе удара. Во время удара, поскольку оно чрезвычайно кратко исправить допущенные ошибки уже не представляется возможным. В этой, связи точность ударов в основном обеспечивается правильными действиями в замахе и ударном движении.

Исследования показали, что точность ударов (при трудовых действиях) связана со скоростью ударного действия. При этом медленные удары менее точные, чем удары, наносимые с высокой скоростью. Эти выводы представляют практический интерес для спорта. Однако при значительном увеличении скорости точность падает.

3. БИОДИНАМИКА БРОСКА МЯЧА В БАСКЕТБОЛЕ И ГАНДБОЛЕ

Баскетбол. Броски в корзину. Подготовка к выполнению броска составляет основное содержание игры команды в нападении, а попадание в кольцо – ее главная цель. Точность броска в корзину определяется в первую очередь рациональной техникой, стабильностью движений и управляемостью ими, правильным чередованием напряжения и расслабления мышц, силой и подвижностью кистей рук, их заключительным усилием, а также оптимальной траекторией полета и вращения мяча.

Виды – бросок двумя руками от груди, бросок двумя руками сверху, бросок двумя руками снизу, бросок одной рукой от плеча, бросок одной рукой сверху ("крюком"), бросок одной рукой сверху в прыжке, бросок одной рукой от головы (сверху), бросок двумя руками в прыжке, бросок двумя руками от головы (сверху).

Бросок одной рукой сверху в прыжке. При бросках одной рукой локоть бросающей руки располагают под мячом и направляют на корзину, а локоть другой руки чуть отводят в сторону, поддерживая мяч кистью сбоку или снизу.

Бросок одной рукой «крюком» часто используется центральными игроками для атаки кольца с близких и средних дистанций при активном противодействии высокорослого защитника. Может осуществляться как после вышагивания с места, так и после овладения мячом в движении.

Бросок после вышагивания с места начинается с шага разноименной с бросающей рукой ноги в сторону от соперника. Стопа ставится перекатом с пятки на носок и на внешнюю сторону с последующим поворотом в положение боком к щиту. Опорная нога при этом слегка сгибается, взгляд игрока устремлен на корзину, мяч лежит на согнутой кисти бросающей руки, поднят на уровень плеча и поддерживается сверху другой рукой. Если игрок получает мяч в движении, используется двухтактный ритм разбега.

Отталкиваясь разноименной ногой, игрок кратчайшим путем поднимает полусогнутую руку с мячом вверх-в сторону. Свободная рука, согнутая в локтевом суставе под прямым углом, ограждает мяч от

защитника. Одновременно с махом одноименной с бросающей рукой ногой, согнутой в колене, туловище разворачивается вперед. В наиболее высокой точке прыжка мяч дугообразным движением над головой направляется в корзину. Выпуск производится скатывающим движением кисти, когда вертикально выведенная рука приближается к голове.

В завершающей фазе игрок сопровождает мяч за счет сгибания бросающей руки в локтевом и лучезапястном суставах («накрывает голову») и приземляется в устойчивое двухопорное положение

Гандбол. Бросок – прием, который позволяет забросить мяч в ворота, достичь результата игры. Все остальные приемы необходимы для создания условий для броска. При изучении каждого приема и особенно броска важно рассматривать его по фазам. Причем главное внимание необходимо концентрировать сначала на основной фазе движения, а уже потом на деталях и разнообразии подготовительной.

Принято выделять броски в опорном положении, в прыжке и в падении. Необходимо понять, как происходит разгон мяча.

При замахе гандболист должен отвести руку назад так, чтобы ее основные мышцы были растянуты и напряжены, что усиливает тягу мышц при следующем движении руки вперед. Для этого лучше всего подходит мах вверх-назад. При обратном движении руки вперед и происходит разгон мяча.

Рука состоит из нескольких звеньев: плечо, предплечье, кисть. От того, в какой последовательности эти звенья будут продвигаться вперед, и зависит "сила" броска, скорость, с которой мяч вылетит из руки. Важно, чтобы сначала впереди было плечо, (рука движется локтем вперед), затем предплечье, а в конце кисть. Когда уменьшается масса руки (последовательно останавливаются плечо и предплечье), увеличивается во много раз скорость движения кисти с мячом.

Мяч покидает руку, когда она находится в почти прямом положении вверху над головой (бросок сверху) или сбоку от туловища (бросок сбоку). Траектория полета мяча в ворота может быть различной. Можно послать мяч непосредственно в ворота, а можно сначала в площадку, чтобы в ворота он попал с отскока.

Прямо в ворота мяч можно послать по четырем траекториям: а) навесной, б) нисходящей, в) горизонтальной, г) восходящей.

Можно послать мяч сначала в площадку перед воротами, чтобы он отскочил от нее и влетел в ворота. В зависимости от того, как он ударится об пол, отскок может быть трех видов: а) отраженный, б) скользящий, в) с вращением.

Если сильно ударить мячом в площадку сверху вниз, то получится высокий отскок (отраженный). В таком случае надо целиться в площадку

на 1-1,5 метра от линии ворот. Если, разгоняя мяч сбоку, выпустить его на уровне ниже пояса и послать в площадку, то мяч проскользнет мимо вратаря (отскок скользящий). В таком случае надо целиться как можно ближе к штанге. Можно в конце разгона подкрутить мяч, пронируя или супенируя ладонь. Тогда отскок получится с вращением мяча, то есть после отскока он сменит направление.

Бросок в опорном положении. Бросок в опорном положении в гандболе можно сделать с места, но чаще его выполняют с разбега, который имеет несколько разновидностей и существенно влияет на технику выполнения этого приема. Разбег – не более трех шагов с мячом в руках. Последний шаг в разбеге может быть обычным и стопорящим. В связи с этим бросок выполняется с опорой на одну или обе ноги.

Для броска мяча, когда разгон происходит в одноопорном положении, разбег выполняется обычными шагами. Начинать разбег в три шага надо с правой ноги. Шаг правой, далее левой, держа мяч в двух или одной руках, далее снова правой и в этот момент надо замахнуться. При этом разбеге и замахе мячом назад и разгон мяча вперед выполняется в опоре на одну правую ногу.

Для увеличения быстроты и точности броска в конце разгона мяча нужно резко вынести левую ногу вперед навстречу правой руке, чтобы использовать встречную пару сил. Постепенно нужно бросать, выполняя после ловли мяча разбег в два, а потом и в один шаг.

Для броска, когда разгон мяча происходит в двух опорном положении, благодаря стопорящему последнему шагу в разбеге, нужно твердо опереться двумя ногами в поверхность площадки и затормозить продвижение тела вперед.

Бросок в прыжке. Бросок в прыжке применяется в случаях, когда необходимо быстро уйти от опеки, исключить блокирование, посылая мяч над руками защитников, сократить расстояние до ворот, увеличить угол броска по отношению к воротам.

На подготовку броска в прыжке гандболист тратит меньше времени, чем на бросок в опорном положении. Разбеги при этом броске те же, но у них иная задача – увеличить высоту и длину прыжка. В полете нужно выполнить подготовительные движения для сохранения вертикального положения.

Поставив правую ногу на площадку, еще до отталкивания нужно резко поднять согнутую левую вперед-вверх. Этот мах способствует взлету. Далее нужно оттолкнуться и завершить замах, слегка повернув туловище вправо, в сторону бросающей руки. Произойдет небольшое "скручивание" туловища.

Бросок в падении. Этот бросок применяется для мгновенного ухода от защитника, который находится в непосредственной близости. Часто бросок выполняют без разбега. Очень важным здесь является само падение до того, как игрок выполнит замах.

В этом и заключается уход от защитника. Падение можно выполнить, находясь лицом, боком и даже спиной к воротам.

Степень наклона тела при падении до замаха полностью зависит от мастерства игрока. Замах нужно делать резко, с поворотом в сторону бросающей руки, чтобы, прогнувшись, увеличить путь разгона мяча, лучше видеть и обыграть вратаря. В основном замах выполняется вверх-назад, а бросок мяча сверху.

4. **БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УДАРА ПО МЯЧУ В ВОЛЕЙБОЛЕ И ФУТБОЛЕ**

Волейбол. Биомеханика нападающего удара. Оценка прыжковой подготовки волейболистов не может быть полной без ясного представления о рациональности техники выполнения одного из основных двигательных действий в волейболе – нападающего удара. Нападающий удар выполняется в большинстве случаев при трехкратном касании мяча и заканчивается вблизи сетки. Разбег длиной от 2 до 4 метров начинается у линии нападения, в большинстве случаев он направлен под острым углом по отношению к сетке.

Последний напоминает прыжок с низкой траекторией полета с последующим отталкиванием. При этом игрок одновременно или последовательно касается обеими пятками пола, делает перекат с пятки на носки и отталкивается от пола обеими носками, одновременно вскидывая вверх обе руки. Ударная рука отводится далеко назад с одновременным поворотом корпуса. В момент достижения высшей точки прыжка наносится удар по мячу сзади-сверху. Во время удара возможны различные варианты движения руки, силы и направления удара. Возможны также удары с отталкиванием одной ногой, без разбега, а также боковые удары (так называемые "крюки").

Основное назначение замаха в волейболе – растянуть упругие компоненты мышц плечевого пояса, передней поверхности туловища (включая косые мышцы живота) и бедра (прогиб туловища и сгибание ног в коленном суставе).

Успех выполнения такого замаха определяется, прежде всего, гибкостью – длиной коллагеновых структур широчайшей мышцы, мышц передней поверхности туловища и бедра. Рациональность техники удара зависит от количества звеньев, задействованных во вращательном

движении бьющей поверхности и от положения оси, относительно которой происходит это вращение.

Лучшим следует считать вариант с максимальным радиусом вращения, так как увеличивается линейная скорость кисти и ударная масса. Рука максимально вытянута в плечевом суставе, а локоть противоположного плеча опущен к верхушке гребня таза, относительно которого происходит вращение.

Плечо закреплено и его нельзя отводить назад. Если в момент удара ударяющее и ниже расположенные звенья представляют собой единое тело, то в ударном взаимодействии будет принимать участие масса всех этих звеньев. Преждевременное напряжение мышц антагонистов резко уменьшит ускорение бьющей поверхности. Этим отличаются спортсмены высокой и низкой квалификации. Удар следует наносить с ускорением вперед в момент контакта кисти с мячом.

Особенности полета мяча. Целевая точность также зависит от траектории полета мяча, положения тела, с которым он взаимодействует, и соотношения их скоростей. Рассмотрим динамические основы полета мяча. При соударении с кистью происходит деформация мяча, и сила удара достигает максимума. Если вектор силы направлен в центр мяча, то в полете, он не вращается. Траектория полета мяча может значительно измениться в зависимости от скорости его вращения.

Если направление силы удара не совпадает с положением ЦМ мяча, то возникает момент силы, принуждающий мяч к вращению в полете). Величина этого момента зависит от величины, направления и точки (места) приложения силы удара.

В поступательном движении вращающийся мяч может резко изменить свою траекторию полета в сторону вращения. Вращающийся мяч создает движение воздуха на своей поверхности в направлении вращения (в результате действия сил трения).

При движении мяча вперед вращающийся поток воздуха сталкивается со встречным потоком снизу мяча. Сверху мяча циркулирующий поток суммирует свою скорость со скоростью встречного потока.

В результате давление воздушного потока над мячом будет меньше давления под ним. Разность давления обеспечит смещение мяча в более разреженное пространство. Воздушные потоки неравномерно завихрятся по разные стороны от поверхности мяча, создавая хаотично изменяющиеся во времени разреженные области (закон Бернулли), которые обеспечивают неприятное "рыскание" мяча в полете. Более того, при уменьшении скорости полета мяча, например, с 25 м/с до критической (около 15 м/с),

резко изменяется величина коэффициента и мяч неожиданно "тормозится" в воздухе и падает вниз.

Футбол. Основное средство ведения игры в футболе – это удары по мячу.

Биомеханизм ударного движения ногой. Влияние на силу удара движения бедра с согнутой голенью и голенью при торможении бедра. Достаточная эластичность мышц бедра и подвижность тазобедренного сустава. Силу движения обеспечивает скорость разгибания голени и движение бедра. Общая скорость движения бедра и голени связана со скоростью движения ноги при касании мяча. Важно держать тело в вертикальном положении. Правильная последовательность элементов технического приема. Правильный удар – это правильное выполнение разбега (расстояние до мяча; угол в начале движения; набор скорости).

Биомеханизм ударного движения головой. Бить надо лбом. Руки – для равновесия и придания большего импульса силы. Движение спины – чем больше амплитуда катапульты, тем дальше полетит снаряд. Игрок придает правильное направление движения усилием шеи. Для удара головой важны ловкость и концентрация.

Удары по мячу ногами: внутренней стороной стопы; внутренней частью подъема; вредней частью подъема; внешней частью подъема; носком; пяткой.

Биомеханизм удара средней частью подъема. Линия разбега, мяч и цель находятся примерно на одной линии. Замах и ударное движение выполняются строго в сагиттальной (переднезадней) плоскости. Опорная нога ставится с пятки на уровне с мячом.

Во время ударного движения происходит перекал опорной ноги с пятки на носок. Условная ось, соединяющая мяч и коленный сустав, в момент удара строго вертикальна. Такое положение сохраняется во время проводки.

Значительная площадь соприкосновения стопы и мяча позволяет выполнить удар точно.

Разбег, замах и ударное движение выполняются в одной плоскости, благодаря чему биомеханически целесообразно используется система движения и удары наносятся с большой силой по сравнению с другими способами.

ТЕМА 2.5 БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАВАНИЯ

1. ОБЩИЕ ОСНОВЫ ГИДРОМЕХАНИКИ
2. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАВАНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

1. ОБЩИЕ ОСНОВЫ ГИДРОМЕХАНИКИ

Прежде, чем перейти к рассмотрению биомеханических особенностей некоторых стилей плавания, поговорим о *гидромеханике*.

Вода – жидкость, агрегатное состояние вещества промежуточное между твердым и газообразным состоянием. Жидкость сохраняет некоторые свойства твердых тел и свойства газа. Но есть ряд присущих только ей особенностей. Подобно твердому телу вода имеет свой объем, свободную поверхность, обладает прочностью на разрыв. Жидкость принимает форму сосуда.

Жидкость отличается сильным межмолекулярным взаимодействием и вследствие этого малой сжимаемостью. Это свойство объясняется тем, что небольшое уменьшение расстояния между молекулами приводит к появлению больших сил межмолекулярного отталкивания. Все эти вопросы изучаются в разделе механики и – гидромеханики – науки, изучающей равновесие жидких сред и их взаимодействия с газообразными средами и твердыми телами.

Первые гидромеханические устройства (весло, руль, насос) относятся к далекому прошлому. Главная задача гидромеханики – определение закономерностей взаимодействия между жидкой средой и движущимися или покоящимися в ней телами.

Архимед (3 век до н.э.) открыл основной закон гидростатики и создал теорию равновесия жидкостей. В эпоху возрождения свой вклад внесли Леонардо да Винчи и Паскаль. Леонардо да Винчи открыл существование сопротивления воды и подъемной силы при движении тел.

Теоретическое определение закона сопротивления принадлежит Н. Ньютону (сопротивление пропорционально квадрату скорости тела). Он доказал, что сопротивление связано с трением жидкости о поверхность тела, им было определено, что сила трения между двумя слоями жидкости пропорциональна скорости этих слоев относительно друг друга.

Теоретические основы гидродинамики были заложены Л. Эйлером и Бернулли. Определены два вида – ламинарное и турбулентное течение жидкостей, в тех случаях, когда жидкость разделяется на слои, скользящие относительно друг друга не перемешиваясь, такое течение называется

ламинарным (слоистым). При увеличении скорости, поперечных размеров потока, характер течения меняется. Возникает энергичное перемешивание жидкости. Такое течение называется турбулентным. При турбулентном течении скорость частиц в каждом месте изменяется беспорядочным образом.

Английский ученый Рейнольдс рассчитал коэффициент (число Рейнольдса), зависящий от:

- плотности жидкости;
- средней скорости потока;
- коэффициента вязкости;
- площади (размера) поперечного сечения.

При малых значениях этого коэффициента наблюдается ламинарное течение. Начиная с некоторого определенного значения – оно называется критическим, течение приобретает турбулентный характер. Движение тел в жидкости.

При движении тела в жидкости на него действуют силы, равнодействующую которых обозначим буквой R . Силу R можно разложить на две составляющие – R_i , направленную в сторону, противоположную движению (сила лобового сопротивления) и R_g , перпендикулярную направлению движения, (подъемная сила).

При движении тела в жидкости, обладающей вязкостью (например, в воде), тонкий слой жидкости прилипает к поверхности тела и движется с ним как единое целое, увлекая с собой из-за трения последующие слои. По мере удаления от поверхности тела скорость слоев падает и на некотором расстоянии оказывается практически невозмущенной движением тела.

Таким образом, тело оказывается окруженным слоем жидкости, в котором имеется градиент скорости. Этот слой называется пограничным. В нем действуют силы трения, которые тормозят движение, т.е. приводят к возникновению лобового сопротивления. Но дело не исчерпывается только этим. Наличие пограничного слоя препятствует полному обтеканию тела.

Действие сил трения в пограничном слое приводит к тому, что поток отрывается от поверхности тела, в результате этого позади тела возникают вихри. Давление, образуемое в вихревом потоке за телом, оказывается пониженным, что приводит к увеличению сил лобового сопротивления.

Лобовое сопротивление складывается из сопротивления трения и сопротивления давления. Последнее сильно зависит от формы тела. Соотношение между сопротивлением трения и сопротивлением давления определяется значением числа Рейнольдса.

Центр плавучести. Вес тела как отражение действия силы тяжести, прилагается к центру тяжести. Точно также подъемная сила, обусловлена

весом выталкиваемой жидкости, прилагается к точке, называемой центром плавучести. Если тело полностью погружено в воду, то центр плавучести находится там же, где и центр тяжести, при условии, что тело имеет равномерную плотность.

Когда центр тяжести и центр плавучести не совпадают, образуется пара сил, разворачивающая тело таким образом, чтобы центр плавучести лежал под центром тяжести. У человека в воде центр объема (плавучести) и центр тяжести не совпадают. Центр объема на несколько сантиметров ближе к голове, поэтому у большинства людей ноги из горизонтального положения начинают опускаться вниз, пока тело не примет вертикальное положение.

2. **БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАВАНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ**

Спортивное плавание – олимпийский вид, включает четыре способа (кроль на груди, кроль на спине, баттерфляй (дельфин), брасс). Пятый способ – комплексное плавание, включающее все виды (классические дистанции 200, 400 м).

При плавании все части тела вовлекаются в движение. Плавание основано на взаимодействии пловца с водой, при котором создаются силы, продвигающие его в воде и удерживающие на ее поверхности.

Биомеханика плавания связана с тем, что силы, тормозящие продвижение, значительны, переменны и действуют непрерывно, «Опора» на воду создается во время гребковых движений и остается переменной по величине.

Кроль на груди. Продвижение вперед происходит постоянно за счет смены работы рук и ног. Руки действуют под водой для продвижения вперед, а противоположное движение – вынос рук вперед – происходит над водой. Движение кисти под водой происходит без сильного отклонения в сторону при слегка согнутой руке. Оно заканчивается, когда рука выходит из воды у бедер. Затем без остановки рука переносится вперед и снова включается в эффективную работу перед плечом. Движения ног – вверх-вниз представляет собой малый тормозящий момент. Движение начинается от таза и продолжается через бедро, коленный сустав, голень, голеностопный сустав вплоть до пальцев ног. При ударе вниз стопа поворачивается внутрь для повышения эффективности отталкивания.

Кроль на спине. Тело выпрямлено, плечевой пояс лежит несколько выше таза, голова слегка подтянута к груди.

Движения рук. К началу подводного движения, продвигающего тело пловца вперед, руки находятся на поверхности воды в выпрямленном положении над плечом. Кисть – в положении отталкивания. Руки начинают подтягивать, при этом они слегка согнуты в локтевом суставе. В конце движения под водой руки опять почти выпрямлены. Во время всей работы в воде кисть проводится на глубине 20–30 см. Рука переносится над водой и, опускаясь в нее, начинает новую рабочую фазу. Ритм смены рук здесь отличается от кроля. В то время как одна рука совершает движение под водой, другая производит маховое движение над водой и затем погружается в воду.

Движения ног. Ноги совершают поочередно удары вверх и вниз. Здесь стопа по мере надобности разворачивается внутрь во время удара вверх с тем, чтобы повысить действенность отталкивания. Амплитуда движения составляет 30–50 см.

Брасс. Брасс – самый медленный стиль из четырех спортивных способов плавания. Это объясняется, прежде всего, тормозящими моментами, возникающими при вынесении рук вперед, а также слабо выраженным подводным движением.

Движения рук. Из вытянутого положения руки симметрично разводятся в стороны и несколько вниз; при этом внутренние поверхности кистей, развернутые во внешнюю сторону и слегка закругленные, действуют как весла. Примерно на уровне плеч руки делают легкий мощный толчок внутрь, подводятся близко к груди и широко разводятся вперед.

Движения ног. Из вытянутого положения голени одновременно и симметрично подводятся к тазу, при этом колени и пятки несколько разведены, ступни развернуты наружу и подтянуты к большой берцовой кости. Из этого положения, при котором пятки находятся на расстоянии 30–40 см от таза, производится широкий толчок разведенными ногами в стороны. При этом особенно сильно отталкиваются голени и подошвами ступни. В затухающей фазе движения ноги опять сводят вместе и выпрямляют.

Баттерфляй. Плавание баттерфляем выполняется с помощью порхающих над водой рук одновременно с движениями ног и корпуса, которые напоминают движения хвостовых плавников дельфина. К началу подводного движения обе руки находятся впереди плеч; они подводятся под туловище одновременно. После того, как кисти обеих рук выносятся из воды в сторону от бедер, руки как можно более напряженно вновь выводятся вперед до очередного погружения.

Движение ног начинается в поясничной части. Для увеличения силы отталкивания при ударе вниз стопы повернуты внутрь, а при ударе вверх опять становятся продолжением голени.

Плавучесть точно так же как сила, обусловленная весом тела, приложена к его центру тяжести (ЦТ), подъемная сила, обусловленная весом вытесненной им жидкости, приложена к точке, называемой **центром плавучести**.

При движении в жидкости твердого тела (например, шара) ближайший слой жидкости прилипает к нему и движется вместе с ним; остальные слои скользят друг относительно друга. Сила, действующая на твердое тело, движущееся внутри вязкой среды (жидкость), и направленная противоположно скорости тела, называется сопротивлением среды.

Лобовое сопротивление. При движении какого-нибудь тела в жидкости, на него действует сила, задерживающая его движение. Эту силу называют лобовым сопротивлением. Величина ее зависит от природы жидкости и от размеров, формы и скорости движущегося тела.

Как показали эксперименты в аэродинамических трубах, лобовое сопротивление тела или различных тел одной и той же формы можно определить по формуле $D = -\rho v A C_d$, где D – лобовое сопротивление, ρ – плотность жидкости, v – скорость движения жидкости относительно тела, A – характеристическая площадь и C_d – величина, называемая коэффициентом лобового сопротивления, которая зависит от формы тела и от числа Рейнольдса.

К сожалению, не существует единого определения A , которое было бы удобным при любой форме тела. Используются следующие площади:

1) лобовая площадь, т. е. площадь проекции тела на плоскость, перпендикулярно направлению потока. В случае цилиндра, имеющего высоту h и радиус r , лобовая площадь будет равна r^2 , если ось цилиндра параллельна потоку, и $2rh$, если она перпендикулярна ему;

2) площадь наибольшей проекции, т. е. проекции по тому направлению, по которому площадь ее будет наибольшей; эту величину используют, когда имеют дело с обтеканием профиля крыла; по сравнению с лобовой площадью она имеет то преимущество, что не изменяется при наклоне профиля;

3) суммарная поверхность тела. Следует помнить, что в случае тонкой пластинки это будет суммарная площадь обеих ее сторон.

Если есть сомнения, то важно указать, какая именно из этих площадей была использована при вычислении коэффициента C_d .

Лобовое сопротивление – не единственная гидродинамическая сила, действующая на тела, которые движутся в жидкости или находятся в

потоке. По определению оно имеет то же направление, что и скорость движения жидкости относительно тела.

Когда симметричное тело движется вдоль своей оси симметрии, действующая на него гидродинамическая сила направлена прямо и представляет собой лобовое сопротивление. Но когда симметричное тело движется под некоторым углом к оси симметрии, гидродинамическая сила действует под углом к его пути. Ее можно разложить на две составляющие, одна из которых направлена назад и представляет собой лобовое сопротивление, а другая действует под прямым углом к первой.

Энергетика пловца. Когда человек плавает, он сообщает некоторое количество энергии воде, чтобы продвинуться (проплыть) в ней. Это создает волну, которая, в конечном счете, потеряет всю сообщенную ей энергию в виде тепла, и поверхность воды снова станет спокойной. Затраченная таким образом при плавании энергия представляет собой совершенную работу плюс тепло, потерянное телом пловца.

БрГУ им. А.С. Пушкина

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Тема 1 Определение ОЦМТ графическим способом

Определение положения общего центра тяжести тела графическим способом (сложением сил тяжести).

Основные задачи: 1) научиться определять положение центров тяжести звеньев (ЦТ); 2) научиться определять положение общего центра тяжести тела (ОЦТ).

Пояснения.

I. Центр тяжести звена – воображаемая точка, неизменно связанная со звеном, к которой приложена равнодействующая всех сил тяжести звена в любом его положении. Иначе говоря, моменты всех сил тяжести звена относительно его ЦТ взаимно уравниваются, их сумма равна нулю. Отсюда вытекают два способа определения положения ОЦТ двух и более звеньев: а) графический – сложением сил тяжести и б) аналитический – сложением моментов сил тяжести. Опытным путем (О. Фишер, Н. А. Бернштейн) были определены средние данные о весе звеньев тела и положений их ЦТ (таблица 1).

Если принять вес тела за 100%, то вес каждого звена может быть выражен в относительных единицах (в процентах); при выполнении расчетов не обязательно знать абсолютный вес (в кг) ни всего тела, ни каждого звена. ЦТ звеньев определены по анатомическим ориентирам (голова, кисть и т. д.) или по относительному расстоянию ЦТ от проксимального сустава (радиус центра тяжести – часть всей длина звена конечности), или по пропорции туловища, стопы и др.

Таблица 1 – Относительный вес и расположение центров тяжести звеньев тела

Название звена	Относительный вес Р (в %)	Расположение ЦТ звена
Голова	7	Над верхним краем наружного слухового отверстия
Туловище	43	На линии между осями плечевых и тазобедренных суставов на расстоянии (от плечевой оси) 0,44
Плечо	3	0,47
Предплечье	2	0,42
Кисть	1	Пястно-фаланговый сустав третьего пальца
Бедро	12	0,44
Голень	5	0,42
Стопа	2	На линии между пяточным бугром и вторым пальцем на расстоянии 0,44 от пятки

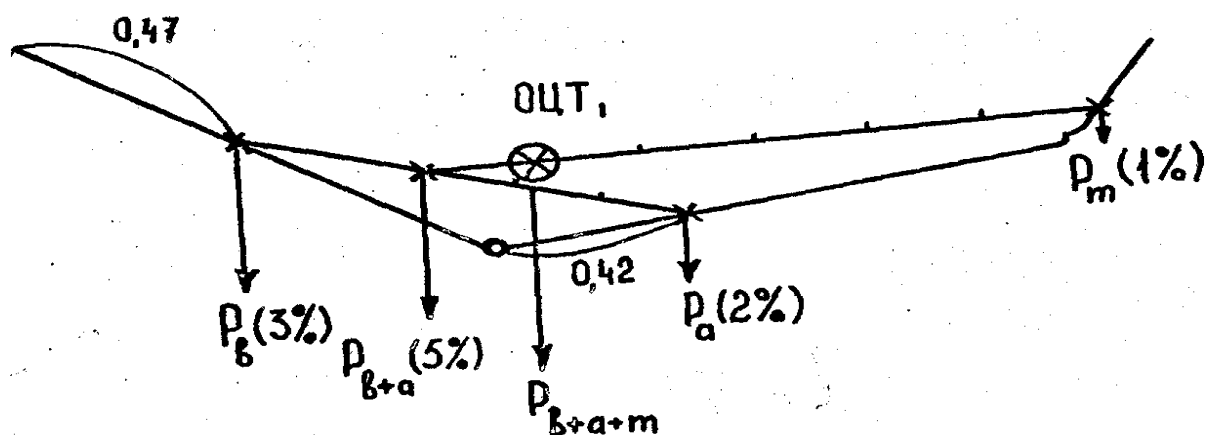


Рисунок 27 – Определение положения ЦТ двух звеньев руки сложением сил тяжести

2. Для определения равнодействующей двух параллельных сил соединяют прямой линией точки их приложения. При сложении сил тяжести двух звеньев эта линия соединяет их ЦТ. На этой линии располагается точка приложения суммы двух сил – равнодействующей, т.е. общий центр тяжести двух звеньев. Например, ЦТ плеча и предплечья расположен на линии, соединяющей ЦТ каждого (рисунок 27).

Так как плечо весит 3%, а предплечье 2% от веса тела (таблица 1), то эту линию следует разделить на $2+3=5$ частей. ЦТ двух звеньев расположен ближе к более тяжелому (соотношение отрезков линии 2:3, считая от плеча). Таким способом можно определить общий центр тяжести тела, последовательно складывая силы тяжести, приложенные к каждому звену тела.

3. Положение ОЦТ и ЦТ звеньев важно определять при разборе условий равновесия в статическом положении. Изменения траектории движения ОЦТ тела могут происходить в результате действия внешних сил, приложенных к телу в целом, или внешних относительно соответствующего звена, так как без действия внешней силы положение и движение ЦТ измениться не может.

Следует заметить, что сложение параллельных сил допустимо только в абсолютно твердом теле. Дело в том, что для деформируемого тела и материальной системы теорема о сложении параллельных сил неверна.

Две силы, приложенные к разным точкам, в этих случаях нельзя заменить одной силой. Поэтому, строго говоря, и общего центра тяжести и центра инерции (точка приложения равнодействующей параллельных сил инерции) в теле человека нет. Но есть совпадающая с ними точка – центр масс (точка, находящаяся внутри или вне тела, в которой пересекаются

линии действия сил, приводящих данное тело или материальную систему в поступательное движение). Предполагая, что система мгновенно "отвердела", можно найти ее центр масс способами определения общего центра тяжести и рассматривать центр масс как центр тяжести.

Задания.

1. Определить положение ЦТ звеньев тела. На фотографии позы человека, пользуясь анатомическими данными, проставить положение проекции осей, суставов. Измерив длину каждого звена, помножить ее на соответствующее значение радиуса ЦТ. Пользуясь этими данными и анатомическими ориентирами, проставить ЦТ всех звеньев.

2. Найти равнодействующую всех сил тяжести. Удобно найти сначала ЦТ сил тяжести плеча и предплечья (векторы сил тяжести рисовать не нужно, следует только помнить относительный вес звеньев); далее, прибавив вес кисти, найти ОЦТ всей руки. Так же последовательно суммировать вес звеньев ноги. В нашем примере (рисунок 28) положение симметричное; значит, ЦТ обеих рук расположены одинаково, так же, как и обеих ног.

Определяя только ОЦТ всех конечностей, этого можно еще не учитывать, но, прибавляя к их весу вес туловища или головы, об этом нельзя забывать (удвоить вес конечности). Определяя положение ЦТ туловища, если оно согнуто или разогнуто, правильное его положение наносить не на изогнутой продольной оси, а на прямой линии, соединяющей плечевой и тазобедренный суставы. Однако и здесь будет допущена погрешность, поэтому для точных научных исследований расчетные способы определения положения ОЦТ дают больший процент ошибок, чем экспериментальные (уравновешиванием).

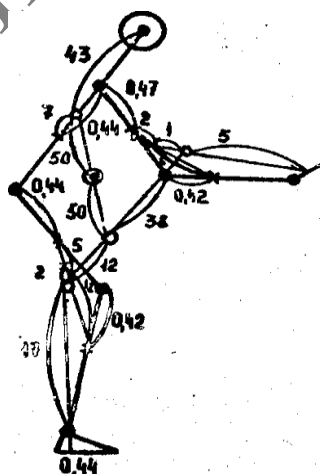


Рисунок 28 – Определение положения ОЦТ тела графическим способом

Определив положение ОЦТ головы и туловища (50% веса тела), а также всех конечностей (другая половина веса), расстояние между ними делят пополам. В этой точке и расположен ОЦТ тела.

Оборудование и инвентарь: миллиметровая бумага, линейка, карандаш, циркуль, калькулятор, сантиметровая лента.

Ход работы:

1. Выбрать объект для измерения.
2. Измерить длину каждого звена тела человека и занести полученные данные в таблицу 2.

Таблица 2 – Показатели длины звеньев тела человека

№	Звено тела	Длина, см	№	Звено тела	Длина, см
1	Г олова		5	Кисть.	
2	Туловище		6	Бедро	
3	Плечо		7	Г олень	
4	Предплечье		8	Стопа	

3. Выбрать масштаб и построить проекции осей суставов тела человека на миллиметровой бумаге.
4. Измерив длину каждого звена и умножив ее на соответственное относительное значение радиуса ЦТ (таблица 1), определить ЦТ отдельных звеньев тела.
5. Определить ЦТ верхних конечностей.
6. Определить ЦТ нижних конечностей.
7. Определить ЦТ верхних и нижних конечностей.
8. Определить ЦТ туловища и головы.
9. Определить ОЦТ тела человека.

Контрольные вопросы

- Что такое центр тяжести звена и общий центр тяжести тела?
 Зачем нужно определение ЦТ и ОЦТ?
 Какие основания имеет графический способ определения положения ОЦТ?
 Какие данные необходимы для определения положения ОЦТ графическим способом?
 Что такое центр инерции и центр масс тела, их отношение к положению ОЦТ?

Тема 2 Определение ОЦМТ аналитическим способом

Построить проекции осей суставов тела человека в спортивной позе в одной из четвертей координатных осей. Определить ЦТ всех звеньев тела человека. Аналитическим способом определить положение ОЦМТ тела человека. Графическим способом определить положение ОЦМТ тела человека.

Задачи: Научиться определять положение ОЦМТ сложением моментов сил тяжести.

Оборудование и инвентарь: миллиметровая бумага, линейка, карандаш, циркуль, калькулятор.

Ход работы:

1. На миллиметровой бумаге начертить проекции осей суставов тела человека.
2. Определить ЦТ всех звеньев тела человека.
3. Выбрать произвольную точку O и провести из нее оси координат OX и OY так, чтобы проекции осей суставов тела человека находились в одной из четвертей координатных осей.
4. Произвести разметку осей координат.
5. Считать координаты ЦТ всех звеньев тела человека и занести их в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчет координат ОЦМТ человека

Звено тела	X	Y	P%	PxX	PxY
Голова			7		
Туловище			43		
Плечо правое			3		
Плечо левое			3		
Предплечье правое			2		
Предплечье левое			2		
Кисть правая			1		
Кисть левая			1		
Бедро правое			12		
Бедро левое			12		
Г олень правая			5		
Г олень левая			5		
Стопа правая			2		
Стопа левая			2		
Все тело	X=	Y=	P=100	PxX=	PxY=

6. Внести значения P%, PxX и PxY в таблицу

7. Найти значения X и Y ОЦМТ человека по формулам: $x = \frac{P_{xX}}{P\%}$; $y = \frac{P_{xY}}{P\%}$
8. Нанести координаты X и Y на координатные оси и найти ОЦМТ человека.
9. Проверить расположение ОЦМТ человека графическим способом.

Тема 3 Построение биомеханической схемы двигательного действия

Начертить таблицу координат и внести в нее все значения точек тела. Построить промер, нанося точки всех поз и проведя все линии, соединяющие точки.

Основные задачи: 1) научиться составлять таблицу координат; 2) научиться находить по координатам положение точек тела и чертить схематические позы человека.

Пояснения.

1. Промер (рисунок 29) – пространственно-временная диаграмма движений (схемы положений тела). Она показывает, где располагаются точки тела в пространстве и как они изменяют свое положение через определенные интервалы времени. Это позволяет рассчитать скорости и ускорения точек тела.

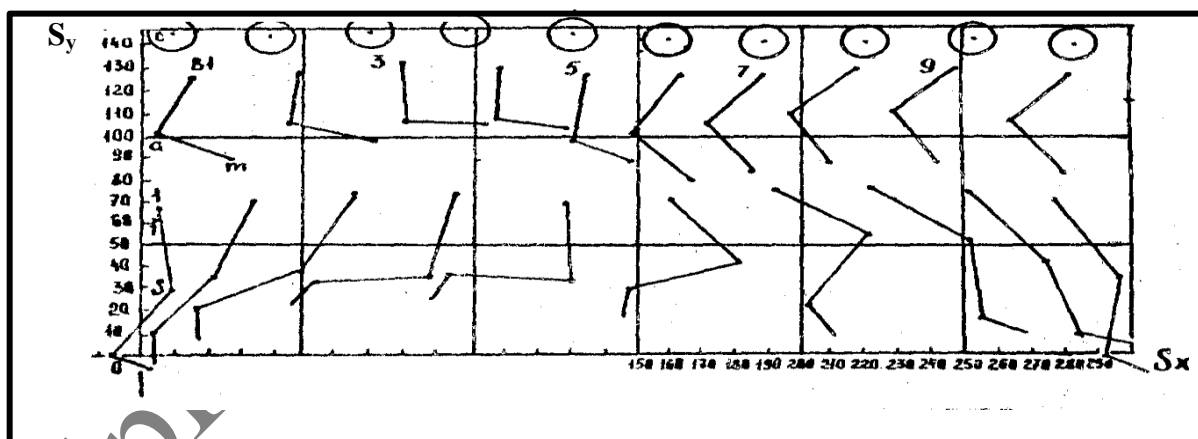


Рисунок 29 – Киноциклограмма бега человека

2. Промер строят на основе материалов специальной киносъемки. Для изучения движений, выполняемых в одной плоскости (бег в легкой атлетике, прыжки в длину, ходьба на лыжах, бег на коньках и т.д.), применяется одноплоскостная киносъемка.

Для изучения движений со сложными пространственными перемещениями (метание молота, диска, упражнения на коне в гимнастике и т. д.) используют трехплоскостную киносъемку. Три киноаппарата

располагаются на определенном расстоянии друг от друга так, чтобы их оптические оси были взаимно перпендикулярны.

Съемка производится сбоку, спереди (или сзади) и сверху (зенитная киносъемка). Киноаппарат располагают так, чтобы его главная оптическая ось была перпендикулярна направлению движения или основной плоскости движения. Если же оптическая ось аппарата не перпендикулярна основной плоскости, то углы на изображении не будут равны действительным углам сгибания.

При этом существенно искажаются и линейные размеры, что приводит к большим ошибкам при их измерении. Место расположения киноаппарата определяется так, чтобы объект съемки полностью поместился в кадр, оптическая ось аппарата должна находиться против центра области передвижения.

Минимальная частота съемки при изучении передвижений спортсмена составляет 32 кадра в секунду. При этом промежутки времени между кадрами будут равны $1/32 \approx 0,03$.

Перед киносъемкой испытуемого специально подготавливают. На точки тела, соответствующие проекциям основных суставов, наносят «кресты» (ширина полоски – 1 см, длина – 5 см). Предпочтительно снимать испытуемого в плавках, нанося отметки осей суставов непосредственно на кожу. При съемке в условиях низкой температуры испытуемого одевают в облегачающий костюм (так, чтобы смещения костюма относительно тела были минимальны) и наносят проекции осей суставов непосредственно на костюм. Цвет меток должен быть контрастным цвету одежды.

3. Промер строят по кадрам киноплёнки или фотоотпечаткам с них двумя способами: а) проецированием на координатную сетку (с киноплёнки – через проектор; с фотоотпечатков – через эпидиаскоп); при этом минимум два ориентира на каждом кадре (или снимке) должны совместиться с их изображением на координатной сетке; б) по координатам каждой точки (относительно избранного начала координат) на каждом кадре или снимке; координаты сначала считываются по каждому снимку и записываются в таблицу координат. В обоих способах предварительно выбирают масштаб изображения (обычно 1:10, лучше 1:5).

4. По полученному (проецированием) на координатной сетке промеру считывают координаты точек и записывают их в таблицу координат. В обоих случаях в результате получается промер и таблица координат, по которым ведут дальнейшую обработку.

Задания.

1. Составить таблицу координат. Вычертить таблицу с количеством горизонтальных строк, равным числу кадров (в нашем примере 10 поз), и количеством вертикальных колонок, равным удвоенному числу

изображаемых точек, для координат горизонтальных (X) и вертикальных (Y). В представленной таблице координат (таблица 4) даны ранее определенные по фотокадрам координаты S_x и S_y для следующих восьми точек тела: с – центр тяжести головы, в – плечевой, а – локтевой, m – лучезапястный, f – тазобедренный, s – коленный, p – голеностопный суставы и d – кончик стопы. Каждая координата – это соответствующее расстояние данной точки от оси X или оси Y.

Таблица 4 – Таблица координат ОЦМТ человека

S_x №	с	в	а	m	f	s	p	d	S_y №	с	в	а	m	f	s	p	d
1	9	15	6	30	6	10	-9	3	1	145	125	100	89	68	28	0	-0
2	38	48	46	71	35	23	+5	4	2	146	129	105	100	70	33	8	-7
3	68	79	81	105	65	50	19	17	3	148	132	198	105	73	36	20	+4
4	99	108	108	131	98	88	53	45	4	149	131	106	98	72	34	32	19
5	129	136	130	151	130	133	94	89	5	146	127	102	88	69	32	36	24
6	159	163	151	167	161	182	150	147	6	143	126	102	81	70	41	30	15
7	190	189	173	186	192	222	204	211	7	142	128	106	83	75	53	23	9
8	221	217	199	210	222	251	256	269	8	143	131	111	87	77	53	18	10
9	252	248	230	242	250	276	286	301	9	144	131	112	88	75	44	11	4
10	282	279	266	281	278	298	296	307	10	142	128	107	85	72	36	1	-7

2. Построить сетку координат. Определить по таблице координат наибольшие значения S_x и S_y , (S_x точки d позы 10-й равна 307 мм; S_y – точки с позы 4-й равна 149). По этим данным установить размеры сетки координат (по горизонтали – не менее 310 мм, по вертикали – не менее 150 мм, если масштаб выбрать 1:10, т.е. 10 мм на сетке координат изображают 10 см в натуре). Учитывая в таблице координат отрицательные значения координат ($S_x=-10$ и $S_y=-10$). Теперь через каждые 50 мм провести горизонтальные и вертикальные линии для удобства отсчета координат. Разметить оси координат через 10 мм и надписать численные значения.

3. Построить промер, нанести все точки правой половины тела 1-й позы. Координата точки с позы 1-й $S_x=9$ мм, $S_y=145$ мм.

Как удобнее найти положение точки? Можно от нуля координат отсчитать вправо 9 мм и от этой точки вверх 145 мм, но можно это сделать быстрее и проще, с меньшим риском ошибки. Заметим, что $S_y = 145$ мм, т.е. на 5 мм ниже линии "150". Найдя эту точку на вертикальной оси (Y) сетки, вправо от нее найдем сразу точку "10 мм", а от нее отсчитаем 1 мм (это проще, чем отсчитывать подряд 9 мм вправо от оси).

Такое же сокращение поиска точки проследим в следующих случаях. Точка 1-й позы – $S_x=15$; $S_y=125$; на горизонтальной линии "125" отсчитаем сразу 15 мм. У точки m I позы $S_x=30$; здесь удобнее отсчитывать ее от нуля

вправо (0, 10, 20 и 30), а от вертикальной линии "50" влево (50, 40 и 30). S_y этой точки "89"; эту координату удобнее отсчитывать от горизонтальной линии "100" вниз (100, 90, 89). А точку S 1-й позы удобнее отсчитывать сначала по $S_x = 10$, а отсюда вверх (10, 20, 30 и 28).

Следует стараться как можно меньше перемещать карандаш вдоль какой-либо оси, используя вспомогательные линии сетки (через 50 мм) как ориентиры для отсчета.

Нанеся все точки 1-й позы, обвести точку с кружком диаметром 7 мм (обозначение головы); далее соединить точки b , a , m двумя линиями (рука) и точки f , s , p , d тремя линиями (нога). Точку c , обозначающую голову, с точкой b соединять нельзя, так как b – плечевой сустав. Во время бега она перемещается вперед и назад. Если провести линию от c к b , то окажется, что такая шея качается, как маятник. По этой же причине не соединяют точки b и f .

Нанеся точки всех 10 поз и проведя все линии (для каждой позы сразу же после нанесения точек), проверить правильность поз. Прежде всего, необходимо проверить, похожи ли позы на естественные позы человека, так как бывают курьезные случаи – позы с переразгибанием колена вперед или со стопой в области головы, если перепутаны координаты S_x и S_y .

Тщательно проверить, нет ли на воображаемой траектории скачков точек вверх или вниз, вперед или назад, что бывает при ошибке в отсчете координат. Кроме того, проверить на глаз, не изменяют ли резко части тела свои размеры. И, наконец, остается проставить номера поз. Это удобно делать через одну позу (например, только нечетные) около точек b и f мелкими цифрами над соответствующей точкой.

Контрольные вопросы

Что называется промером?

Для чего служит промер?

Какие данные необходимы для построения промера?

Как строится сетка координат?

Как выбрать масштаб изображения?

Какие ошибки возможны при построении промера?

Тема 4 Расчет по координатам линейных скоростей и ускорений

Используя данные лабораторной работы № 3 рассчитать скорости и ускорения для всех точек.

Основные задачи: 1) научиться рассчитывать линейные скорости и ускорения по способу разностей; 2) научиться строить векторы скоростей и ускорений точек тела (на промере).

Пояснения.

I. Скорость – мера быстроты изменения положения точки в пространстве с течением времени. Она измеряется отношением пройденного пути (ΔS) к затраченному времени (Δt). Чтобы определить пройденный путь, например, точки коленного сустава S 1-й позы (исходное положение – и. п.) до 3-й позы (конечное положение – к. п.), разложим его движение по двум направлениям: по горизонтали будет равно разности координат к. п. и и. п., т. е. $S_{x3}-S_{x1}=\Delta S_{3,1}$.

Взяв из таблицы координат $S_{x3}=50$ и $S_{x1}=10$, получим $S_{x3}-S_{x1}=50-10=40$. Величина 40 (в мм промера) представляет собой разность координат (в мм) (Δ'_x).

Как теперь найти Δt , т.е. затраченное время?

Предположим, что частота киносъемки 20 кадров в секунду ($N=20$). Значит, между двумя соседними кадрами интервал времени $1/20$ с, определили $\Delta S_{3,1}$ два интервала ($L=2$) по $1/20$ с, т. е. за $1/10$ с.

На промере $\Delta S=40$ мм, без учета масштаба. Чтобы найти действительный путь точки, надо его разделить на величину масштаба ($1/10$). или умножить на величину, обратную масштабу ($M=10$).

Тогда действительный путь: $\Delta'SM=40\times 10=400$ мм. Запишем определение времени:

$$\Delta t = \frac{L}{M} = \frac{2}{20} = \frac{1}{10} \text{ с.}$$

Теперь формула скорости (от 1-й до 3-й позы), а величина горизонтальной скорости:

$$V_{x2} = V_{x3-1} = \frac{40 \times 10 \times 20}{2} = 4000 = 4 \text{ м/с}$$

Зная V_x и V_y , можно найти полную скорость V , как диагональ прямоугольника со стороны V_x и V_y .

Однако, когда обрабатывает большую кинограмму (много поз), такой расчет очень продолжителен и поэтому поступают проще: строят векторы скоростей или кинематические графики.

Скорости точек тела человека практически непрерывно изменяются под действием приложенных сил; чем больше сила, тем быстрее

изменяется скорость. Как же быстро изменяются скорости? Рассмотрим для этого ускорение.

2. Ускорение – мера, быстроты изменения скорости с течением времени. Она измеряется отношением приращения скорости (положительного – увеличения или отрицательного – уменьшения) ко времени, затраченному на это приращение. Ускорение, как и скорость, удобно рассчитывать по двум составляющим: горизонтальной и вертикальной.

Если горизонтальная скорость коленного сустава в момент 2-й позы 4,0 м/с, а в момент 4-й позы (расчет проводится по разности координат) $S_{x4}-S_{x2} = 133-50=83$ мм, то приращение скорости $V_{x4}-V_{x2}=8,3-4,0=4,3$ м/с.

Это приращение скорости произошло за 1/10 с (два интервала при частоте съемки 20 кадров в секунду; $N=20$, и $L=2$). Значит, ускорение

$$a_{x3} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta' s MN^2}{L^2} = \frac{43 \times 10 \times 20 \times 20}{4} = 43 \text{ м/с}^2$$

Здесь $\Delta''s=43$ – разность первых разностей или "вторая разность" ($\Delta''s$).

Это ускорение – среднее на участке пути от 2-й до 4-й позы; будем считать его мгновенным ускорением в момент промежуточной 3-й позы.

Таким же способом рассчитывается и вертикальное ускорение той же точки в то же время:

$$a_{y3} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta' s MN^2}{L^2} = \frac{-12 \times 10 \times 20 \times 20}{4} = -12 \text{ м/с}^2$$

$$\Delta''_{y3} = \Delta''_{y2} - \Delta''_{y4} = -4 - 8 = -12$$

Знак минус показывает, что ускорение направлено вниз. Зная a_x и a_y , можно найти полное ускорение по правилу параллелограмма:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

3. Первые разности (Δ') – это величины числителя формулы скорости, выраженные в единицах длины. Это еще не сами скорости, но так как при их расчете берется одинаковое Δt ($L=2$), то разности прямо пропорциональны скоростям. Таким же образом вторые разности (Δ'') – это величины числителя формула ускорения, выраженные в единицах длины. Они также прямо пропорциональны ускорениям. Поэтому если нас интересует только, как именно и когда изменяются скорости и ускорения, а не их абсолютные величины, то можно не вести расчет до конца, а рассматривать только разности.

4. Скорости и ускорения – векторные величины; они характеризуются размером и направлением. Их можно изобразить в виде стрелок определенного размера (в любом выбранном масштабе) и соответствующего направления. Это направление зависит от

составляющих горизонтальной и вертикальной, когда полная скорость или ускорение определяются по правилу параллелограмма.

Задания.

1. Заготовить таблицы скоростей и ускорений: вычертить две таблицы точно такого размера, как таблицы координат. Перенумеровать строчки (по количеству поз) и разметить колонки (по изображенным точкам). На том месте, где в таблице координат стояли обозначения S_x и S_y , проставить в таблице скоростей Δ'_x и Δ'_y в таблице ускорений Δ''_x и Δ''_y .

2. Рассчитать первые и вторые разности (по горизонтали и по вертикали) для избранных точек. Возьмем для примера две точки: S – коленный сустав и d – пальцы стоп. Наложим на таблицу координат таблицу скоростей так, чтобы видеть колонку цифр координат S_x точки S . Вычтем из координаты 3-й позы координату 1-й: $50-10=40$; запишем Δ'_x в таблицу скоростей в колонку S (коленный сустав) левой половины таблицы (Δ'_x) в строку вторую. Далее в третью строку этой колонки запишем $88-23=65$; в четвертую строку $133-50=83$ и т. д. до конца колонки. В первой и последней строках данных нет, поэтому здесь поставим прочерк.

Когда делают расчет Y (по вертикали), будут встречаться случаи вычитания аз меньшей величины отрицательных величин (их надо складывать, сохраняя знак минус), вычитания из отрицательных величин и т. д.; здесь надо вспомнить соответствующие правила вычитания.

Имея заполненную колонку первых разностей для какой-либо точки тела, таким же приемом можно рассчитать вторые разности. В таблицах 5 и 6 представлены рассчитанные Δ'_x и Δ'_y для точек S и d (по таблице координат – таблица 4).

Таблица 5 – Таблица скоростей ОЦМТ человека

Δ'_x №	c	b	a	m	f	s	p	d	Δ'_y №	c	b	a	m	f	s	p	d
1						–	–	–	1						–		–
2						40		14	2						8		12
3						65		41	3						1		26
4						83		72	4						-4		20
5						94		102	5						7		-4
6						89		122	6						21		-15
7						69		122	7						12		-5
8						54		90	8						-9		-5
9						47		38	9						-17		-17
10						–		–	10						–		–

Обратите внимание на то, что в таблице ускорений в первых двух и последних двух строках нет значений вторых разностей.

Таблица 6 – Таблица ускорений ОЦМТ человека

Δ'_x №	c	b	a	m	f	S	ρ	d	Δ'_y №	c	b	a	m	f	s	ρ	d
1						–		–	1						–		–
2						–		–	2						–		–
3						43		58	3						-12		8
4						29		61	4						6		-30
5						6		50	5						25		-30
6						-25		20	6						5		-1
7						-35		-32	7						-30		10
8						-22		-84	8						-29		-12
9						–		–	9						–		–
10						–		–	10						–		–

3. Определить масштаб изображения векторов скоростей и ускорений. Рассмотрев внимательно цифры таблицы скоростей и ускорений, можно заметить, что если принять 1 мм на промере за одну единицу разностей, то будут слишком длинные стрелки, они не уместятся на промере. Если же принять 10 мм на промере за 20 единиц разностей, то стрелки хорошо уместятся на промере. Подчеркнем, что масштаб первых и вторых разностей может быть и неодинаков, так как скорости и ускорения – это разные характеристики и сравнивать их друг с другом по величине стрелок (векторов) нельзя.

4. Нанести на промере векторы скоростей и ускорений соответствующих точек (рисунок 30).

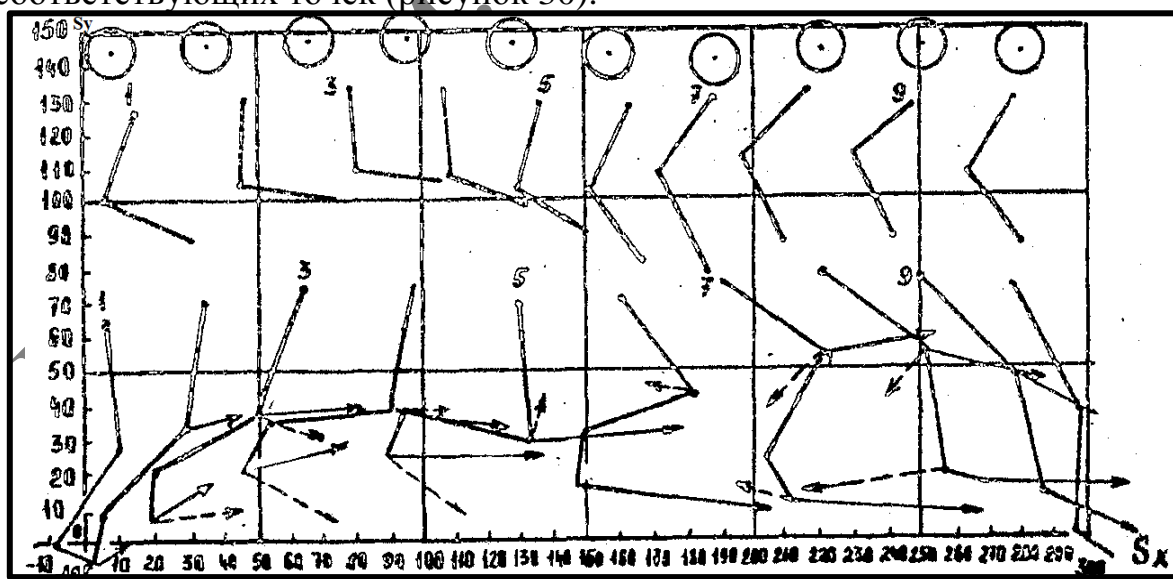


Рисунок 30 – Промер бега с векторами скоростей и ускорений

Контрольные вопросы

Что такое скорость, чему она равна?

На чем основан способ расчета разностей?

Что такое первые разности, в каких единицах они рассчитываются?

Что такое ускорение, чему оно равно?

Что такое вторые разности, в каких единицах они рассчитываются?

Как построить векторы скорости и ускорения?

Как проверить правильность построения векторов скорости и ускорения, на пользуясь таблицей координат?

Тема 5 Расчет угловых скоростей и ускорений по угловым координатам

Перенести на лист бумаги с кинограммы положения ОЦМТ, оси перекладки и вертикали. Заготовить таблицу для записи угловых положений, расчета угловых скоростей и угловых ускорений. Определить угловые положения и записать в таблицу. Рассчитать скорости и ускорения для ОЦМТ.

Основные задачи: 1) научиться определять угловые положения тела (считать угловые координаты); 2) научиться рассчитывать угловые скорости и ускорения по способу разностей; 3) научиться строить круговые графики угловых характеристик.

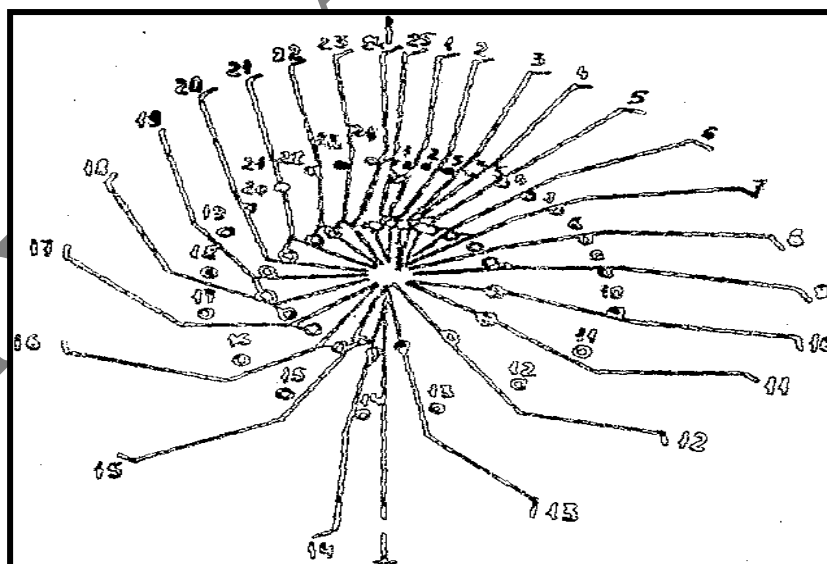


Рисунок 31 – Промер большого оборота назад на перекладине

Пояснения.

1. Угловые положения, скорости и ускорения определяются не для точки тела, а для всего тела, но для определения этих величин нужна опознавательная линия на теле. В нашем примере (большой оборот назад на перекладине) такая линия определяется по ОЦТ тела (рисунок 31). Определим направление отсчета – по часовой стрелке, в сторону движения гимнаста. Единицы отсчета – угловые градусы. Отсчет углового положения тела при помощи транспортира (угловая координата) в каждой позе ведется по вертикали, по часовой стрелке, до радиуса ОЦТ, проведенного от перекладины через ОЦТ.

Такой способ определения угловой скорости тела гимнаста условный. У изменяющейся материальной системы такой угловой скорости, как у твердого тела, нет, у твердого тела отношение линейной скорости V каждой точки к длине радиуса (ее расстояния до оси вращения) r – величина постоянная – это и есть угловая скорость (ω) твердого тела.

У системы тел скорости точек зависят не только от их радиусов, но и от скоростей звеньев относительно друг друга. Отношение скоростей разных течек к их радиусам различное и угловой скорости (единой, как у твердого тела) не существует. Если, выбрать условную линию (r), определить ее угловые координаты и перемещения, то можно получить величину угловой скорости (ω) этой линии, приблизительно отражающей быстроту изменения положения тела гимнаста относительно оси вращения.

Под действием центробежных сил тела гимнаста и его веса перекладина изгибается и центр вращения перемещается, если учитывать это перемещение, то расчет усложняется. Измеренные величины угловых координат (φ) заносят в вертикальную колонку таблица 7.

Таблица 7 – Таблица расчета угловых скоростей и ускорений (по способу разностей)

№ п/п	φ	$\Delta'\varphi$	$\Delta''\varphi$	№ п/п	φ	$\Delta'\varphi$	$\Delta''\varphi$
1	3	–	–	14	189	44	-6
2	11	14	–	15	210	39	-4
3	17	16	2	16	228	40	5
4	27	16	3	17	250	44	0
5	33	19	7	18	272	40	-9
6	46	23	7	19	290	35	-8
7	56	26	7	20	307	32	-9
8	72	30	7	21	322	26	-9
9	86	33	6	22	333	23	-7
10	105	36	6	23	345	19	-11
11	122	39	8	24	352	12	–
12	144	44	6	25	356	–	–
13	166	45	0	–	–	–	–

2. Угловая скорость – мера быстроты изменения углового положения всего тела в пространстве с течением времени. Ее измеряют отношением углового перемещения условной линии ($\Delta'\varphi$) к затраченному времени. Расчет ведется по способу первых разностей, описанному в работе № 2.

Из угловой координаты 3-й позы (φ_3) вычитается угловая координата 1-й позы (φ_1). Полученная разность ($\varphi_3 - \varphi_1 = \Delta\varphi_2$) равная числителю формулы угловой скорости ($\varphi = \frac{\Delta'\varphi}{\Delta t}$), это путь, пройденный за два интервала между кадрами. Она прямо пропорциональна скорости.

При частоте съемки 12 кадров в секунду один интервал равен $1/12$ с, а два интервала – $1/6$ с. Разделив соответствующую $\Delta'\varphi$ на $1/6$ с, получим угловую скорость в градусах за 1 с. В отличие от расчета линейных скоростей масштаб изображения учитывать не нужно, так как угловые величины при любом масштабе изображения не изменяются.

3. Угловое ускорение – мера быстроты изменения угловой скорости с течением времени. Она измеряется отношением приращения угловой скорости (положительного – увеличения или отрицательного – уменьшения) к времени, затраченному на это приращение. Расчет угловых ускорений ведется по способу вторых разностей (работа № 2). Из первой разности 4-й позы вычитается первая разность 2-й позы. Полученная вторая разность ($\Delta'\varphi_4 - \Delta'\varphi_2 - \Delta'\varphi_3$) равна числителю в формуле углового ускорения ($\Sigma = \frac{\Delta''\varphi}{(\Delta t)^2}$): она прямо пропорциональна ускорению. Расчет разностей ведется через два интервала, и среднее ускорение относится к промежуточной точке.

Изменения угловой скорости тела гимнаста и соответствующие им ускорения зависят от действия силы тяжести (при движении вверх она его замедляет), а также от изменения длины радиуса ОЦТ. Когда ОЦТ приближается к перекладине, появляется положительное угловое ускорение и угловая скорость увеличивается; отдаление ОЦТ от перекладины имеет противоположное действие. Чтобы проследить за влиянием приближения ОЦТ к центру вращения и отдаления от нее, соединим все точки ОЦТ от 1 до 25 (включительно, но не далее) сплошной линией; это траектория ОЦТ.

Круговой график угловой скорости удобно изобразить, откладывая величины, прямо пропорциональные угловой скорости (первых разностей $\Delta'\varphi$), на радиусах ОЦТ от оси перекладины; соединив все точки на радиусах (от 2 до 24), получим график скорости.

6. Круговой график углового ускорения надо изображать иначе, чем угловой скорости, так как скорость имеет здесь один знак (движение в

одном направлении), а у ускорения два знака (положительный – нарастание скорости и отрицательный – уменьшение скорости). За нуль примем окружность произвольного радиуса (центр ее – ось перекладины); величины, прямо пропорциональные положительному ускорению (вторые разности $\Delta''\varphi$), будем откладывать по радиусам соответствующих точек окружности (от нуля) от центра, а отрицательные – к центру.

Задания.

Перенести на лист бумаги с рисунка 30 положения ОЦТ (25 точек), ось перекладины и вертикаль (через стойку перекладины). Для этого можно использовать копировальную бумагу, перерисовать на оконном стекле (на просвет) или приколоть иголкой каждую точку. Проставить номера точек ОЦТ, провести вертикаль.

Провести радиусы ОЦТ (от центра до каждой точки). Соединить все ОЦТ линией – траектория движения ОЦТ. Провести окружность радиусом ОЦТ позы в естественно выпрямленном положении (поза 7, рисунок 32)

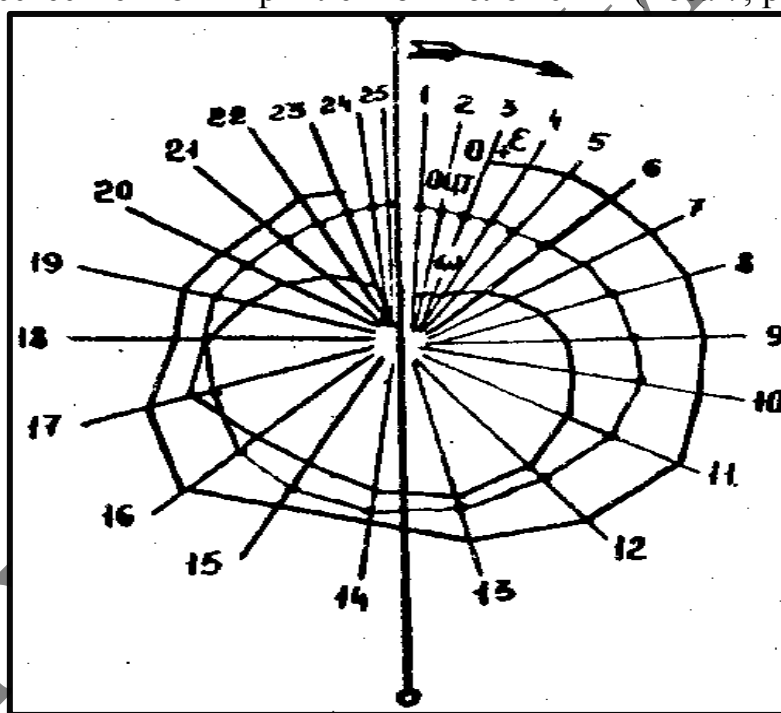


Рисунок 32 – Графики угловых скоростей и ускорений тела гимнаста

3. Заготовить таблицу для записи угловых положений (φ) и расчета угловых скоростей ($\Delta'\varphi$) и угловых ускорений ($\Delta''\varphi$) (таблица 7).

4. Измерить транспортиром угловые положения от вертикали по ходу движения и записать в таблицу 7 (графа φ). После позы 13 транспортир переложить по другую сторону вертикали и продолжать отсчет от 180° (до 360°).

Рассчитать первые и вторые разности. Вычитая из угловой координаты 3-й по эй угловую координату 1-й позы, получим первую разность, прямо пропорциональную угловой скорости 2-й позы (записать во вторую строку второй колонки – $\Delta'ф$). Таким же способом определяются угловые ускорения (по вторым разностям).

Нарисовать круговые графики угловых скоростей и ускорений. Отложить на радиусах ОЦТ, начиная со 2-й позы, величину угловой скорости в произвольном масштабе (например, 10° первой разности равны 10 мм); соединить полученные точки линиями. Отложить на радиусах ОЦТ, начиная с 3-й позы, от произвольно нарисованной окружности положительные ускорения – в сторону от центра, отрицательные – к центру (масштаб: 10° второй разности равны 10 мм); соединить точки линиями (рисунок 31). Обратите внимание, что кривые не замкнуты, так как нет данных для первой и последней поз по скоростям и для двух с начала и конца для ускорений. Отметим, что эти графика построены по пути, а не по времени.

Проанализировать зависимость движения от действия веса и приближения тела к оси перекладки. Заметить удаление ОЦТ от перекладки и приближение и сказанные с этим изменения ускорения и скорости.

Контрольные вопросы

Что такое угловая скорость твердого тела и каково ее отличие от скоростей движущегося тела спортсмена?

Что служит началом отсчета при определении угла поворота тела?

Как называется первая разность угловых координат и что она представляет собой?

Причины различий в построении круговых графиков угловых скоростей и ускорений?

Как соотносятся угловые скорости и ускорения в разные моменты большого оборота?

Как выявить ошибки в построении круговых графиков?

КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ**Примерные вопросы к экзамену**

1. Предмет биомеханики. Понятие о формах движения.
2. Механические движения в живых системах и его особенности.
3. Объект познания и область изучения биомеханики. Задачи биомеханики.
4. Теория биомеханики спорта.
5. Метод биомеханики спорта.
6. Предпосылки развития биомеханики. Направления развития биомеханики.
7. Современный этап развития биомеханики спорта. Связь биомеханики с другими науками.
8. Организация биомеханического исследования.
9. Регистрация кинематических характеристик.
10. Регистрация динамических характеристик.
11. Биомеханический анализ двигательных действий.
12. Биомеханические пары и цепи.
13. Степени свободы движений в биокинематических цепях.
14. Рычаги в биокинематических цепях. «Золотое правило» механики в движениях человека.
15. Условия равновесия и ускорения костных рычагов.
16. Механические свойства костей и суставов.
17. Механические и биологические свойства мышц.
18. Виды работы мышц.
19. Групповые взаимодействия мышц.
20. Строение биомеханической системы.
21. Свойства биомеханической системы.
22. Особенности режима движений биомеханической системы.
23. Понятие о биомеханических характеристиках и их виды.
24. Система отсчета расстояния и времени.
25. Пространственные характеристики
26. Временные характеристики.
27. Пространственно-временные характеристики.
28. Инерционные характеристики.
29. Силовые характеристики.
30. Энергетические характеристики.
31. Кинематические особенности в движениях человека.
32. Динамические особенности в движениях человека.
33. Силы в движениях человека.

34. Биоэнергетика двигательных действий.
35. Биомеханика двигательных движений.
36. Понятие о двигательном действии как системе движений.
37. Пространственные образующие элементы системы движений и их биомеханическая оценка.
38. Временные образующие элементы системы движений и их биомеханическая оценка.
39. Динамические образующие элементы системы движений и их биомеханическая оценка.
40. Состав и структура системы движений.
41. Виды структур в системе движений.
42. Координация движений человека и ее свойства.
43. Логическая схема биодинамической структуры.
44. Двигательные качества человека.
45. Силовые качества, сила действия человека и сила мышц.
46. Зависимость силы действия человека от параметров двигательных заданий.
47. Положение тела и сила действия человека.
48. Выбор положений тела при развитии силы.
49. Топография силы.
50. Биомеханические требования к специальным силовым упражнениям.
51. Понятие о скоростных качествах.
52. Динамика скорости и скорость изменения силы (градиент силы).
53. Параметрические и непараметрические зависимости между силовыми и скоростными качествами.
54. Биомеханические аспекты двигательных реакций.
55. Биомеханические основы эргометрии
56. Биомеханические проявления утомления
57. Выносливость и способы ее измерения
58. Проблемы экономизации спортивной техники.
59. Биомеханические основы экономизации спортивной техники.
60. Биомеханическая характеристика гибкости.
61. Биомеханическая характеристика упражнений с сохранением положения тела (стойки, упоры, висы) в гимнастике.
62. Биодинамика осанки.
63. Биомеханическая характеристика вращательных упражнений в гимнастике (подъем разгибом, переворот боком, соскок махом вперед)
64. Биомеханическая характеристика прыжков в длину с разбега.
65. Биомеханическая характеристика спортивной ходьбы.
66. Биомеханическая характеристика бега.

67. Биомеханическая характеристика стоек спусков и способов подъемов.
68. Биодинамика попеременных ходов.
69. Биодинамика одновременных ходов.
70. Биомеханическая характеристика плавания способом «кроль».
71. Биомеханическая характеристика плавания способом «дельфин»
72. Биомеханическая характеристика броска мяча в баскетболбе.
73. Биомеханическая характеристика броска мяча в гандболе.
74. Биомеханическая характеристика удара по мячу в волейболе.
75. Биомеханическая характеристика удара по мячу в футболе.
76. Определить графическим способом ОЦТ плеча и предплечья.
77. Определить графическим способом ОЦТ плеча и кисти.
78. Определить графическим способом ОЦТ предплечья и кисти.
79. Определить графическим способом ОЦТ бедра и голени.
80. Определить графическим способом ОЦТ бедра и стопы.
81. Определить графическим способом ОЦТ голени и стопы.
82. Определить графическим способом ОЦТ головы и туловища.
83. Определить графическим способом ОЦТ головы и плеча.
84. Определить графическим способом ОЦТ головы и предплечья.
85. Определить графическим способом ОЦТ кисти и бедра.
86. Определить графическим способом ОЦТ бедра и туловища.
87. Определить графическим способом ОЦТ голени и плеча.
88. Определить графическим способом ОЦТ стопы и кисти.
89. Определить графическим способом ОЦТ туловища и стопы.
90. Определить графическим способом ОЦТ туловища и кисти.
91. Определить аналитическим способом ОЦТ плеча и предплечья.
92. Определить аналитическим способом ОЦТ плеча и кисти.
93. Определить аналитическим способом ОЦТ предплечья и кисти.
94. Определить аналитическим способом ОЦТ бедра и голени.
95. Определить аналитическим способом ОЦТ бедра и стопы.
96. Определить аналитическим способом ОЦТ голени и стопы.
97. Определить аналитическим способом ОЦТ головы и туловища.
98. Определить аналитическим способом ОЦТ головы и плеча.
99. Определить аналитическим способом ОЦТ головы и предплечья.
100. Определить аналитическим способом ОЦТ кисти и бедра.
101. Определить аналитическим способом ОЦТ бедра и туловища.
102. Определить аналитическим способом ОЦТ голени и плеча.
103. Определить аналитическим способом ОЦТ стопы и кисти.
104. Определить аналитическим способом ОЦТ туловища и стопы.
105. Определить аналитическим способом ОЦТ туловища и кисти.

ТЕСТЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

ВАРИАНТ 1

1. Биомеханика наука о:

А – движениях;

Б – движениях человека;

В – движениях животных;

Г – движениях живых существ

2. Что составляет содержание биомеханики?

А – теория;

Б – теория и метод;

В – метод;

Г – анализ

3. Каковы критерии оптимальности двигательной деятельности:

4. Идеи каких ученых древности легли в основу биомеханики?

А – Архимеда;

Б – Аристотеля;

В – Микеланджело;

Г – Авиценны

5. Кто является основателем отечественной биомеханики?

А – Введенский;

Б – Лесгафт;

В – Бернштейн;

Г – Бехтерев

6. Назовите виды воздействия на кость:

А – растяжение;

Б – сжатие;

В – изгиб;

Г – кручение

7. Назовите механические свойства мышц:

8. Назовите режимы движений БМС:

- А – динамический;
- Б – колебательный;
- В – статический;
- Г – переменный

9. Что включается в систему отсчета расстояния?

- А – направление движения;
- Б – начало отсчета;
- В – единицы отсчета;
- Г – меры отсчета

10. Назовите виды кинематических характеристик:

- А – пространственно-временные;
- Б – инерционные;
- В – пространственные;
- Г – временные

11. Какие виды характеристик относятся к пространственным?

- А – положение;
- Б – координата;
- В – перемещение;
- Г – траектория

12. Какие виды ускорений Вы знаете?

- А – положительное;
- Б – отрицательное;
- В – позитивное;
- Г – тормозящее

13. Назовите инерционные характеристики:

- А – момент инерции;
- Б – масса;
- В – момент времени;
- Г – радиус инерции

14. Какие виды энергии Вы знаете?

- А – статическая;
- Б – потенциальная;
- В – кинетическая;
- Г – динамическая

15. Какие силы действуют на биокинематические цепи?

- А** – движущие;
- Б** – тормозящие;
- В** – отклоняющие;
- Г** – возвращающие

16. Назовите виды внешних сил в движениях человека:

17. Какие Вы знаете сочетания движений и дыхания?

- А** – анатомическое;
- Б** – физиологическое;
- В** – биомеханическое;
- Г** – химическое

18. Что составляет пространственные образующие элементы системы движений?

- А** – составные движений;
- Б** – суставные движения;
- В** – положения тела;
- Г** – позы

19. Какие суставные движения выделяют в деятельности человека?

- А** – совместные;
- Б** – поочередные;
- В** – последовательные
- Г** – одновременные

20. Что является мерой измерений пространственных образующих элементов системы движений?

- А** – временные характеристики;
- Б** – динамические характеристики;
- В** – пространственные характеристики;
- Г** – кинематические характеристики

21. Что входит в состав кинематической структуры системы движений?

- А** – временная;
- Б** – пространственная;
- В** – динамическая;
- Г** – пространственно-временная

22. Что входит в состав дифференцированной структуры системы движений?

- А** – обобщенная;
- Б** – динамическая;
- В** – кинематическая;
- Г** – информационная

23. Как может осуществляться координация?

- А** – по рефлекторным признакам;
- Б** – на мышечном уровне;
- В** – на двигательной периферии;
- Г** – на нервном уровне

ВАРИАНТ 2

1. Назовите формы движений:

- А** – простые;
- Б** – сложные;
- В** – простые и сложные;
- Г** – составные

2. Назовите направления развития биомеханики:

- А** – механическое;
- Б** – функционально-аналитическое;
- В** – физиологическое;
- Г** – системно-структурное

3. Назовите части биомеханики:

- А** – особенная;
- Б** – общая;
- В** – дифференциальная;
- Г** – частная

4. В каком году была издана первая книга по биомеханике?

А – 1951;

Б – 1792;

В – 1679;

Г – 1813

5. Когда был введен курс биомеханики в институтах физкультуры СССР?

А – 1925;

Б – 1938;

В – 1946;

Г – 1958

6. Назовите функции костей:

А – опорная;

Б – двигательная;

В – укрепляющая;

Г – защитная

7. Назовите биологические свойства мышц:

А – возбудимость;

Б – растяженность;

В – сократимость;

Г – релаксация

8. Какие функции выполняют мышцы в энергообеспечении двигательной деятельности?

А – преобразователь;

Б – накопитель;

В – распределитель;

Г – производитель

9. Что включается в систему отсчета времени?

А – направление движения;

Б – начало отсчета;

В – единицы отсчета;

Г – меры отсчета

10. Какими параметрами характеризуется траектория движения?

- А – направлением;
- Б – длиной;**
- В – ориентацией;**
- Г – кривизной

11. Какие виды характеристик относятся к пространственно-временным?

- А – фаза;
- Б – скорость;**
- В – цикл;
- Г – ускорение**

12. Что раскрывают в движениях динамические характеристики?

13. Назовите силовые характеристики:

14. Чем характеризуются кинематические особенности в движениях человека?

- А – активными движениями;
- Б – составными движениями;**
- В – направлением движения;**
- Г – структурой движения

15. Какие силы проявляются в движениях человека?

- А – возвратные;
- Б – внутренние;**
- В – динамические;
- Г – внешние**

16. На что расходуется энергия, накопленная организмом человека?

- А – производительную работу;**
- Б – не производительную работу;**
- В – гомеостаз;**
- Г – рассеивание в пространстве**

17. Что такое система движений?

18. Какие положения тела Вы знаете?

А – поперечные;

Б – наклонные;

В – вертикальные;

Г – горизонтальные

19. Что входит в состав временных образующих элементов системы движений?

А – цикл;

Б – время;

В – фаза;

Г – период

20. Что является мерой измерений временных образующих элементов системы движений?

А – временные характеристики;

Б – динамические характеристики;

В – пространственные характеристики;

Г – кинематические характеристики

21. Что входит в состав динамической структуры системы движений?

А – силовая;

Б – анатомическая;

В – биостатическая;

Г – биодинамическая

22. Что входит в состав обобщенной структуры системы движений?

А – фазовая;

Б – циклическая;

В – ритмическая;

Г – координационная

23. Что такое логическая схема биодинамической структуры?

ВАРИАНТ 3

1. Каковы задачи биомеханики?

- А – частные;
- Б – общие;
- В – комплексные;
- Г – общие и частные

2. Назовите этапы биомеханического анализа:

3. Назовите отрасли биомеханики:

4. Кто в России стал впервые читать курс лекций по биомеханике:

- А – Павлов;
- Б – Сеченов;
- В – Лесгафт;
- Г – Ухтомский

5. Из чего состоит биокинематическая цепь?

- А – звеньев;
- Б – пар;
- В – суставов;
- Г – звеньев и пар

6. Сколько степеней свободы имеет свободное тело?

- А – четыре;
- Б – одну;
- В – три;
- Г – шесть

7. Сколькими свойствами обладает БМС?

- А – одним;
- Б – двумя;
- В – тремя;
- Г – четырьмя

8. Какие биомеханические характеристики описывают движения человека?

- А – структурные;
- Б – динамические;**
- В – механические;
- Г – кинематические**

9. Что определяют кинематические характеристики?

10. Какие виды характеристик относятся к временным?

- А – момент времени;
- Б – длительность движения;**
- В – темп;**
- Г – ритм**

11. Какие виды скоростей Вы знаете?

12. Назовите виды динамических характеристик:

- А – пространственные;
- Б – энергетические;**
- В – силовые;**
- Г – инерционные**

13. Назовите энергетические характеристики:

- А – работа;
- Б – кинетическая энергия;**
- В – мощность;**
- Г – потенциальная энергия**

14. Назовите направления движения человека:

- А – круговые;
- Б – дугообразные;**
- В – возвратно-поступательные;**
- Г – возвратно-вращательные**

15. Назовите виды внутренних сил в движениях человека:

16. Какие типы дыхания Вы знаете?

- А – подвздошное;
- Б – грудное;**
- В – диафрагмальное;**
- Г – смешанное**

17. Какие образующие элементы составляют систему движений?

- А – целевые;
- Б – динамические;**
- В – пространственные;**
- Г – временные**

18. Какие позы выделяют в двигательной деятельности человека?

- А – в наклоне;
- Б – в группировке;**
- В – прогнувшись;**
- Г – согнувшись**

19. Что входит в состав динамических образующих элементов системы движений?

- А – завершающие движения;
- Б – энергообеспечивающие движения;
- В – предварительные движения;
- Г – энергокорректирующие движения

20. Что является мерой измерений динамических образующих элементов системы движений?

- А – динамические характеристики;**
- Б – количество движений;
- В – энергетические характеристики;
- Г – кинетический момент

21. Что входит в состав информационной структуры системы движений?

- А – физиологическая;
- Б – сенсорная;**
- В – психологическая;**
- Г – эффекторная**

22. Какие виды координации Вы знаете?

А – физиологическая;

Б – нервная;

В – мышечная;

Г – двигательная

23. Что включается в логическую схему биодинамической структуры?

БрГУ им. А.С. Пушкина

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**ЛИТЕРАТУРА***Основная*

1. Донской, Д. Д. Биомеханика : учебное пособие для студентов факультетов физического воспитания педагогических институтов / Д. Д. Донской – М. : Просвещение, 1975. – 239 с.
2. Донской, Д. Д. Биомеханика : учебник для институтов физической культуры / Д. Д. Донской, В. М. Зациорский – М. : Физкультура и спорт, 1979. – 264 с.
3. Уткин, В. Л. Биомеханика физических упражнений : учебное пособие для студентов факультетов физического воспитания педагогических институтов и для институтов физической культуры по специальности 2114 «Физическое воспитание» / В. Л. Уткин. – М. : Просвещение, 1989. – 210 с.
4. Попов, Г. И. Биомеханика : учебник для студентов высших учебных заведений / Г. И. Попов. – М. : ИЦ Академия, 2007. - 256 с.
5. Попов, Г. И. Биомеханика двигательной деятельности: учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Г. И. Попов, А. В. Самсонова. – М. : ИЦ Академия, 2013. – 320 с.
6. Попов, Г. И. Биомеханика двигательной деятельности : учебник / Г. И. Попов. – М. : Academia, 2018. – 88 с.
7. Сотский, Н. Б. Биомеханика : учебник для студентов специальности «Спорт.-пед. деятельность» учреждений, обеспечивающих получение высш. образования / Н. Б. Сотский ; Белорус. гос. ун-т физ. культуры. – Минск : БГУФК, 2005. – 192 с.
8. Сотский, Н. Б. Курс лабораторных работ по биомеханике / Н. Б. Сотский, О. Н. Козловская, Ж. В. Корнеева. – Минск : БГУФК, 2006.– 49 с.
9. Загrevский, В. И. Биомеханика физических упражнений : учебное пособие // В. И. Загrevский, О. И. Загrevский. – Томск : Издательский дом Томского государственного университета, 2018. – 262 с.
10. Няшин, Ю. И. Основы биомеханики: учебное пособие // Ю. И. Няшин, В. А. Лохов. – Пермь : Изд-во Пермского государственного технического университета, 2007. – 210 с.

Дополнительная

1. Назаров, В. Т. Движения спортсмена / В. Т. Назаров. – Минск : Полымя, 1984. – 176 с.
2. Назаров, В. Т. Биомеханическая стимуляция : явь и надежды / В. Т. Назаров. – Минск : Полымя, 1986. – 96 с.
3. Уткин, В. Л. ГТО: техника движений (с основами контроля и оптимизации) / В. Л. Уткин ; под ред. В. М. Зацюрского. – М. : Физкультура и спорт, 1987. – 111 с.
4. Экспериментальные методы в биомеханике : учебное пособие / под ред. Ю. И. Няшина, Р. М. Подгайца. – Пермь : Изд-во Пермского государственного технического университета, 2008. – 400 с.
5. Рудаков, Р. Н. Теоретическая механика и её приложения к решению задач биомеханики : учебное пособие / Р. Н. Рудаков, Ю. И. Няшин, О. Р. Ильялов, Р. М. Подгаец. – Пермь : Изд-во Пермского государственного технического университета, 2010. – 141 с.
6. Баранцев, С. А. Возрастная биомеханика основных видов движений школьников / С. А. Баранцев. – М. : Советский спорт, 2014. – 304 с.
7. Курьсь, В. Н. Биомеханика. Познание телесно-двигательного упражнения : учебное пособие / В. Н. Курьсь. – М. : Советский спорт, 2013. – 368 с.

БрГУ им. А.С. Пушкина

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТОВ

10 баллов - десять:

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы по биомеханике, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины «Биомеханика», умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины «Биомеханика»;
- умение ориентироваться в теориях и направлениях по биомеханике и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов - девять:

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы по биомеханике;
- точное использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины «Биомеханика», умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы по биомеханике;
- полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины «Биомеханика»;
- умение ориентироваться в основных теориях и направлениях по биомеханике и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях;
- творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов - восемь:

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы по биомеханике;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины «Биомеханика», умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы по биомеханике;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины «Биомеханика»;
- умение ориентироваться в основных теориях и направлениях по биомеханике и давать им критическую оценку;
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов - семь:

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы по биомеханике;
- использование научной терминологии, лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины «Биомеханика», умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины «Биомеханика»;
- умение ориентироваться в основных теориях и направлениях по биомеханике и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов - шесть:

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы по биомеханике;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины «Биомеханика», умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;

- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы по биомеханике;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины «Биомеханика»;
- умение ориентироваться в базовых теориях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов - пять:

- достаточные знания в объеме учебной программы по биомеханике;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины «Биомеханика», умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы по биомеханике;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины «Биомеханика»;
- умение ориентироваться в базовых теориях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла - четыре:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины «Биомеханика»;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины «Биомеханика»;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях и направлениях по биомеханике и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла - три:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;

- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины «Биомеханика»;

- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;

- слабое владение инструментарием учебной дисциплины «Биомеханика»;

- некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;

- неумение ориентироваться в основных теориях и направлениях изучаемой дисциплины «Биомеханика»;

- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла - два:

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;

- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины «Биомеханика»;

- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;

- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл - один:

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.