

Г. И. ПОПОВ, А. В. САМСОНОВА

БИОМЕХАНИКА ДВИГАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Рекомендовано
Учебно-методическим объединением
по образованию в области физической культуры
в качестве учебника для образовательных учреждений
высшего профессионального образования, обучающихся
по направлению «Физическая культура»*

2-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2013

УДК 796/799(075.8)

ББК 28.071я73

П58

Рецензенты:

зав. лабораторией биомеханики, зав. кафедрой легкой атлетики Адыгейского государственного университета, д-р пед. наук, профессор *А. М. Доронин*;
зав. кафедрой биомеханики Российского государственного университета физической культуры, спорта, молодежи и туризма, д-р пед. наук, профессор *А. А. Шалманов*

Попов Г. И.

П58 Биомеханика двигательной деятельности: учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования / Г. И. Попов, А. В. Самсонова. — 2-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 320 с. — (Сер. Бакалавриат).

ISBN 978-5-7695-9761-9

Учебник создан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки «Физическая культура» (квалификация «бакалавр»).

Изложены сведения из области классической биомеханики, необходимые для понимания работы двигательного аппарата человека. Рассмотрены силовые и энергетические аспекты движения тела человека в целом и его отдельных звеньев. Показана связь между использованием традиционных средств физического воспитания, спортивной тренировки, нетрадиционными биомеханическими технологиями и возможным двигательным эффектом при выполнении упражнений.

Для студентов учреждений высшего профессионального образования.

УДК 796/799(075.8)

ББК 28.071я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Попов Г. И., Самсонова А. В., 2011

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2011

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2011

ISBN 978-5-7695-9761-9

Движения человека подчиняются всем физическим законам, которые определяют движение любого материального тела на Земле. Это — и закон всемирного тяготения, и законы Ньютона, и законы гидроаэромеханики, колебательных и волновых явлений и т. д. Движения, как правило, очень сложны, поскольку двигательный аппарат человека представляет собой многозвенную механическую систему, состоящую из более чем 200 костей и нескольких сотен сухожилий. Общее число возможных движений в суставах (так называемых степеней свободы) превосходит 250, число мышц, обслуживающих движения, более 600. Все это необходимо для обеспечения чисто механического перемещения человека во внешней среде.

Работа мышц — это биологический процесс, при котором мышечные волокна должны быть активированы, чтобы они могли совершить механическую работу по перемещению звеньев тела. Чтобы совершить работу, необходимо затратить энергию. В организме человека энергия есть результат биохимических реакций. С механической точки зрения, человек — это система, обладающая внутренним источником энергии биологического происхождения. Чтобы мышцы сокращались в необходимой последовательности и с определенными усилиями, а в результате — производили требуемый механический эффект движения, ими надо управлять. Осуществляют управление головной мозг и нервная система, функционирование которых также имеет биологическую природу. Для запуска управляющих механизмов центральной нервной системы головной мозг используют высшие психические функции, такие как мотивация, осознание, программирование, которые оказывают непосредственное воздействие на процесс формирования и исполнения нервных команд.

Связь психического, биологического и механического в деятельности человека образно определил создатель русской физиологической школы И. М. Сеченов. Он писал: «... все без исключения качества внешних проявлений мозговой деятельности, которые мы характеризуем, например, словами: одушевленность, страстность, насмешка, печаль, радость, суть ни что иное, как результаты большего или меньшего укорочения какой-нибудь группы мышц — акта, как всем известно, чисто механического... и у музыканта, и у скульптора рука, творящая жизнь, способна делать лишь чисто

механические движения, которые, строго говоря, могут быть даже подвергнуты математическому анализу и выражены формулой».

Психика человека качественно отлична от высшей нервной деятельности животных. Это проявляется и в двигательной деятельности. Только человек может сознательно задавать цель движению, понимать его смысл, контролировать и совершенствовать, а также создавать специальную среду и приспособления для повышения механического эффекта своих двигательных действий. Лишь человеку доступны высшие символические движения: не только речь, но и рисование, игра на музыкальных инструментах, танец, пантомима и др.

подавляющее большинство движений человека выполняется с определенной целью и относится к числу произвольных. Такие движения входят в состав двигательных действий, т. е. в совокупность элементарных двигательных актов, направленных на достижение определенной цели. В каждом двигательном акте присутствуют ориентировочная, исполнительная и контрольная части.

Исполнительная часть — это и есть механическое движение. Но оно всегда определяется психической и физиологической деятельностью мозга, обеспечивающей не только непосредственное управление движением, но и ориентировочную и контрольную части двигательного действия по системам биологической внутренней обратной связи. Отсюда, движение человека — это взаимодействие его внутренних систем с внешним окружением.

Еще Аристотель писал: «Животное, которое движется, осуществляет свое изменение положения путем нажатия на то, что находится под ним». Р. М. Энока ставил проблему рассмотрения движения как результата взаимодействия биологической системы и ее внешнего окружения через функционирование нейромеханических систем организма (это то, что можно назвать внутренней, т. е. биологически сложившейся системой управления). И. П. Ратов и Г. И. Попов расширили этот подход, утверждая, что движения человека и их совершенствование следует рассматривать как результат не просто взаимодействия с внешней средой, а взаимодействия, при котором физические свойства внешней среды целенаправленно изменяются. А это значит, что таким способом можно целенаправленно воздействовать на сам характер движения через приспособительные двигательные реакции человека в условиях непрерывного взаимодействия с внешней средой (то, что можно назвать внешним управлением). Следовательно, в управлении движениями существуют внутренняя и внешняя системы управления, согласованное функционирование которых позволяет построить двигательное действие человека. Это является основной идеей, заложенной в настоящем учебнике.

Учебник условно делится на две части. В первой излагаются сведения из области классической биомеханики, необходимые для понимания работы двигательного аппарата человека при выполнении двигательных действий, кинематические, силовые и энергетические аспекты движения тела человека в целом и его звеньев (гл. 1—4). Во второй части традиционные подходы биомеханики рассмотрены в контексте более общей биомеханики двигательной деятельности. Дополнительное внимание уделено влиянию высших отделов центральной нервной системы человека на реализацию его двигательных действий. Тем не менее в настоящем учебнике преобладают биомеханические закономерности формирования и совершенствования двигательных действий человека. Также во второй части излагаются сведения о биомеханических исследованиях и результаты их практического приложения. Показана связь между традиционными средствами физического воспитания и спортивной тренировки, нетрадиционными биомеханическими технологиями и возможным двигательным эффектом при выполнении упражнений.

Авторы будут благодарны за все отзывы и замечания.

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОМЕХАНИКИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

1.1. Что изучает биомеханика двигательных действий?

Биомеханика двигательных действий изучает свойства и функции опорно-двигательного аппарата и двигательные действия человека на основании понятий, принципов и законов классической механики.

Биомеханика — смежная наука. Она возникла на стыке биологии — науки о жизни и механики — науки о механическом движении материальных тел и происходящих при этом взаимодействиях между телами.

За время своего развития классическая механика выработала широкий круг *понятий*, которые в настоящее время используются в биомеханике: перемещение, скорость и ускорение тела, сила, импульс силы, работа, мощность, энергия, общий центр тяжести (общий центр масс) и др. Например, под скоростью тела понимается отношение пути, пройденного телом, ко времени, за которой этот путь пройден. В биомеханике изучают скорости движения звеньев опорно-двигательного аппарата человека, а также скорость сокращения мышц. Одним из центральных в механике является понятие силы как количественной меры механического взаимодействия тел. В биомеханике двигательных действий анализируются силы, действующие на человека, а также силы, возникающие в его опорно-двигательном аппарате, например силы тяги мышц, силы трения в суставах.

Кроме круга понятий в рамках классической механики установлены *принципы* (принцип относительности Галилея, принцип д'Аламбера, принцип возможных перемещений) и *законы* движения материальных тел (законы Ньютона, законы сохранения энергии, количества движения (импульса) и др.).

На основе принципа д'Аламбера и принципа возможных перемещений задачи динамики могут быть сведены к задачам статики.

В биомеханике на основе законов механики анализируются двигательные действия человека. Так, например третий закон Ньютона гласит: «Силы, с которыми действуют друг на друга два тела, всегда равны и направлены по одной прямой в противоположные стороны». Этот закон проявляется, например, при ударе по мячу: рука ударяет по мячу, а сила противодействия со стороны мяча действует на руку.

Закон сохранения количества движения системы гласит: «Если на систему не действуют никакие внешние силы, то количество движения системы остается постоянным (сохраняется)». Винтовка и пуля представляют собой одну систему. Перед выстрелом из винтовки сумма количества движения винтовки и пули равна нулю. Давление пороховых газов, сообщая некоторое количество движения пуле, одновременно сообщает винтовке такое же количество движения, направленное в противоположную сторону (это вызывает явление, называемое отдачей). В результате сумма возникших количеств движения при выстреле будет равна нулю.

Закон сохранения энергии позволяет оценить энергозатраты и энергопотери в мышцах и при перемещениях звеньев в ходе выполнения двигательных действий.

Существует большое разнообразие двигательных действий человека: бытовые, трудовые, оздоровительные (физические упражнения), спортивные и др. В настоящем учебнике с позиций биомеханики рассматривается выполнение человеком оздоровительных и спортивных двигательных действий.

1.2. Цели и задачи биомеханики двигательных действий

Цель биомеханики двигательных действий состоит, с одной стороны, в повышении эффективности двигательных действий человека, а с другой — в предупреждении травм при выполнении двигательных действий и уменьшении их последствий (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Цели и задачи биомеханики двигательных действий

Цели биомеханики	
1. Повышение эффективности двигательных действий человека	2. Предупреждение травм при выполнении двигательных действий и уменьшение их последствий

Задачи	
1.1. Разработка биомеханических критериев и оценка двигательных действий спортсмена с точки зрения их эффективности в решении двигательной задачи	2.1. Оценка правильности существующей техники и выявление ошибок, которые могут привести к травмам
1.2. Разработка новых вариантов техники (коньковый ход, прыжки в высоту, выполнение приседа со штангой в тяжелой атлетике и пауэрлифтинге) и оценка их эффективности	2.2. Разработка снаряжения спортсмена (обувь, бинты, боксерские перчатки, хоккейная экипировка и т. д.), способствующего предупреждению и устранению травм
1.3. Моделирование новых двигательных действий и оценка возможности их выполнения человеком	—
1.4. Разработка биомеханически целесообразных тренажеров для занятий физической культурой и спортом	—
1.5. Разработка и улучшение спортивного снаряжения, повышающего эффективность двигательных действий	—

1.3. История биомеханики

Термин «биомеханика» одним из первых использовал в 1887 г. венский врач *Мориц Бенедикт* (1835—1920) в своем труде «Über mathematische Morphologie und Biomechanik». В 1921 г. *Алексей Капитонович Гастев*, директор Центрального института труда (ЦИТ), применил это понятие для описания рациональных приемов трудовых движений. Принципы движения живых существ интересовали человека с давних времен. Однако отсутствие научных методов их изучения ограничивало возможности оценки механизмов, лежащих в основе движений. Тем не менее такие ученые, как Аристотель, Гален, Леонардо да Винчи, заложили основы науки о движениях человека и животных.

Аристотель (384—322 г. до н.э.) — выдающийся греческий ученый, мыслитель, описал разные типы походок, пытаясь понять,

какие силы действуют на человека при ходьбе. Он может считаться первым биомехаником, так как написал трактат «De Motu Animalium» («Движения животных»).

Велик вклад в изучение функций организма человека *Галена* (129—201) — анатома, врача и естествоиспытателя, считающегося классиком античной медицины. Гален был врачом римского императора Марка Аврелия и написал более 400 трактатов по медицине, среди которых есть труд о функциях человеческого тела. Изучая анатомию и физиологию, Гален широко использовал опыты на животных. Он установил, что задние корешки спинного мозга являются чувствительными, а передние — двигательными. Гален опроверг мнение Аристотеля о мозге как о железе, выделяющей слизь для охлаждения теплоты сердца. Он считал, что мозг является средоточием движения, чувствительности и душевной деятельности.

В развитии биомеханики особенно велика роль *Леонардо да Винчи* (1452—1519) — выдающегося итальянского живописца, скульптора, архитектора, ученого и инженера. Как художник Леонардо да Винчи большое внимание уделял изучению анатомии, особенно пропорций человеческого тела. Сохранилось огромное количество его рисунков, посвященных исследованию расположения мышц и внутренних органов (рис. 1.1).

Леонардо да Винчи придавал особое значение точным наукам в изучении функций человека. «Пусть не читает меня в основах моих тот, кто не математик» — писал он. Изучая ходьбу, бег и другие движения человека, Леонардо да Винчи высказал мысль о необходимости использования достижений механики для их исследования. Ему принадлежит высказывание: «Наука механика потому столь благородна и полезна более всех прочих наук, что, как оказывается, все живые существа, имеющие способность к движению, действуют по ее законам».

В анатомических исследованиях, обобщая результаты вскрытий, Леонардо да Винчи рассматривал организм как образец «природной механики». Он указывал: «Сделай так, чтобы книга об элементах механики с ее практикой предшествовала бы демонстрации движения и силы человека и других животных, и посредством таковых ты сможешь доказать каждое твое утверждение».

Леонардо да Винчи впервые описал функции некоторых костей и нервов, высказал новаторские предположения об антагонизме мышц. В опытах с удалением различных органов у животных он стремился ввести экспериментальный метод в биологию. Как ученый и инженер Леонардо да Винчи обогатил проницательными наблюдениями почти все области науки того времени, рассматривая свои заметки и рисунки как подготовительные наброски к гигантской энциклопедии человеческих знаний. Скептически от-

носясь к популярному в его эпоху идеалу ученого-эрудита, Леонардо да Винчи был наиболее ярким представителем нового, основанного на эксперименте естествознания.



Рис. 1.1. Анатомические зарисовки мышц плеча. Леонардо да Винчи. Королевская библиотека. Виндзорский замок. Виндзор (Великобритания)

Большой вклад в развитие биомеханики как науки внес итальянский астроном, математик и врач *Джованни Альфонсо Борелли* (1608—1679), который так же, как и Леонардо да Винчи, рассматривал мышцы и опорно-двигательный аппарат животных и человека с позиций механики.

Джованни Борелли учил, что сокращение мышц зависит от набухания клеток вследствие проникновения туда крови и духов; последние идут по нервам произвольно или непроизвольно. Как только духи встретятся с кровью, происходит взрыв и появляется сокращение. В своей книге «*De Motu Animalium*» («Движения животных»), вышедшей в 1680 г. после смерти автора, Дж. Борелли подвел итог накопившегося опыта в изучении движений, развил идеи Леонардо да Винчи и дал существенный толчок исследованиям механики движений живых существ. Он рассмотрел с точки зрения механики условия равновесия человеческого тела, дал определение общего центра тяжести на основе экспериментальных данных. Кроме того, ученый рассмотрел работу веретенообразных и перистых мышц; привел первые модели мышц, а также описал движения живых существ: ходьбу, бег, плавание, полет.

Следует отметить, что математический аппарат того времени более всего был приспособлен для изучения статических положений человека, так как знаменитая книга Исаака Ньютона «Математические начала натуральной философии», в которой закладывались основы дифференциального и интегрального исчисления, была опубликована в 1686 г., через семь лет после смерти Дж. Борелли.

Последующее развитие биомеханики как науки связано с трудами немецких ученых — братьев *Эдуарда Фридриха* (1806—1871) и *Вильгельма Эдуарда Веберов* (1804—1891). Эдуард Вебер был анатомом, а Вильгельм Вебер — физиком (в его честь названа единица магнитного потока — Вебер). Вильгельм Вебер активно сотрудничал с Карлом Фридрихом Гауссом.

В 1836 г. братья Вебер издали книгу «*Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge*» («Механика ходьбы человека»). В этой книге они привели данные о кинематических характеристиках ходьбы человека. Однако несовершенство используемых методик не позволило провести анализ быстротекущих двигательных действий. В биомеханике мышц до сих пор справедлив принцип, впервые сформулированный Эдуардом Вебером: «Сила мышц, при прочих равных условиях, пропорциональна их поперечному сечению».

Проникновение в биомеханику подлинно научных методов исследования связано с французским изобретателем *Жаком Луи Дагером* (1787—1851). В 1839 г. он разработал первый практический способ фотография.

Дальнейший шаг по внедрению научных методов исследования в биомеханику был сделан французским физиологом *Этьеном-Жюлем Маре* (1830—1904). После получения среднего образования Э.-Ж. Маре учился вначале в Политехнической школе, а с 1850 г., изучал медицину в Париже. Э.-Ж. Маре разработал метод пневмографии — записи опорных реакций с помощью передачи давления воздуха. В ботинок человека встраивались воздушные камеры. Во время опоры давление воздуха в камере повышалось, оно передавалось по трубочкам на прибор, который испытуемый держал в руке. Это позволило определить длительность периодов опоры и полета при ходьбе и беге. Более серьезным изобретением Э.-Ж. Маре является силовая платформа, позволяющая регистрировать величину реакции опоры при отталкивании.

В 1872 г. американского фотографа *Эдварда Майбриджа* (1830—1904) попросили найти способ установить, отрывает ли лошадь, идущая галопом, в какой-то момент от земли все четыре копыта сразу. Спустя шесть лет, после многочисленных опытов, ему удалось это доказать с помощью 12 фотокамер, размещенных вдоль финишной прямой калифорнийского ипподрома. Пронесясь мимо, лошадь разрывала нити, натянутые поперек дорожки, что приводило в действие электромагниты, которые в свою очередь управляли затворами объективов. Когда полученные снимки просматривали через проектор, казалось, что лошадь движется. Впоследствии Е. Майбридж получил моментальные снимки последовательных фаз движения не только животных, но и человека.

Э.-Ж. Маре усовершенствовал этот метод, предложив фотографическое ружье (1882), которое позволяло делать один за другим 12 снимков. С помощью ружья он снимал и изучал полет птиц и насекомых, ходьбу, бег, прыжки человека.

В 1880 г. Э.-Ж. Маре изобрел хронофотографию — фотографирование всего движения на одну пластинку. Для этого перед фотоаппаратом устанавливался вращающийся диск с прорезями. Когда прорезь открывала доступ светового потока к объективу, на пластине фиксировалось положение человека. В результате съемки на одной пластине получался ряд положений человека в последовательные моменты времени. Первые хронофотографии были очень плохого качества. В дальнейшем Э.-Ж. Маре ограничил число заснимаемых точек движущегося объекта. «Он одел человека с головы до ног в черное трико и на голову набросил капюшон. Из всей поверхности тела он оставил светлыми только узенькие полоски вдоль осей звеньев конечностей да голову отметил светлой точкой. Полоски были сделаны из серебристой галунной тесьмы. Теперь на его фотографиях стали появляться палочковые схемы-человечки из спичек. Благодаря узости этих спичек он мог заснимать фазы движения гораздо более часто, не боясь, что одна фигу-

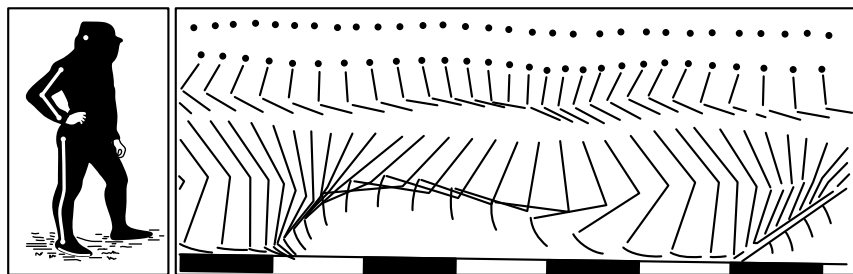


Рис. 1.2. Испытуемый, подготовленный для проведения эксперимента, и хронофотография бега по Э.Ж. Маре

ра наложится на другую (Н. А. Бернштейн, 1990) (рис. 1.2). Следующий шаг был связан с заменой светящихся полосок яркими маркерами, которые крепились на центры суставов. Хронофотография уступила место циклографии.

Помимо описанного способа съемки при дневном свете Э.-Ж. Маре изобрел способ фотографирования при значительном затемнении. Движущийся объект освещался вспышками магния через определенные промежутки времени. В результате этот способ фотографирования стал основой нового метода — стробоскопической фотографии. Наиболее известными трудами Э.-Ж. Маре являются «La machine animale. Locomotion terrestre et aerienne» («Механика животного организма»), изданный в 1873 г., и «Le mouvement», появившийся в 1894 г.

В последующие годы усилия многих изобретателей и инженеров: Луи Лепренса, Джорджа Истмена, Томаса Эдисона, братьев Луи и Огюста Люмьеров привели к созданию киносъемки — метода регистрации неподвижных и движущихся объектов на движущуюся киноплёнку.

В конце XIX в. два немецких ученых *Кристиан Вильгельм Брауне* (1831—1892) и его студент *Отто Фишер* (1861—1917) внесли свой вклад в развитие методики биомеханических исследований. К. В. Брауне был анатомом и преподавателем топографической анатомии в университете Лейпцига. В 1872 г. он издал топографический атлас анатомии человека («Topographisch-anatomischer, nach Durchschnitten gefrorenen Cadavern») — прекрасно иллюстрированное издание поперечных сечений органов человека. К. В. Брауне и О. Фишер определили положение центра тяжести тела человека в трех плоскостях: фронтальной, сагиттальной и трансверсальной. Кроме того, они вычислили положение центров тяжести и массы сегментов тела человека. Это позволило при исследовании ходьбы человека получить не только очень точную пространственную кинематическую картину движения, но ввести в экспериментальную

биомеханику еще и динамику — исследование действующих усилий («Der Gang des Menschen», 1904).

Значительный след в развитии биомеханики двигательных действий оставили отечественные ученые: П. Ф. Лесгафт, И. М. Сеченов, А. А. Ухтомский, Н. А. Бернштейн.

Петр Францевич Лесгафт (1837—1909) — известный анатом и педагог, в 1861 г. закончил Медико-хирургическую академию в Санкт-Петербурге, после чего работал в Казанском и Санкт-Петербургском университетах в качестве профессора анатомии. В своем труде «Основы теоретической анатомии» (1892) П. Ф. Лесгафт рассмотрел ряд проблем, смежных с биомеханикой: механические свойства биологических тканей; особенности строения и соединения костей в зависимости от действующих на них сил; особенности функционирования мышц, имеющих различный ход мышечных волокон; морфометрические характеристики мышц (длина волокна, площадь поверхности опоры, расстояние от места прикрепления мышцы до оси вращения в зависимости от противодействия внешним силам и функции в организме). На основе анализа морфометрических характеристик мышц П. Ф. Лесгафт предложил новую классификацию скелетных мышц (мышцы сильные и мышцы ловкие).

Одним из первых П. Ф. Лесгафт осознал недостаточность применения одного метода в исследовании человека и его двигательных действий. Он указывал: «Описательный анатом знает только мертвый материал. Механику недостаточно известен ни живой, ни мертвый организм, чтобы правильно уяснить существующие при этом отношения и структуры. Физиолог будет исследовать функцию живого организма только путем экспериментов. Любое одностороннее исследование, проведенное только с помощью одного метода, недостаточно объективно, чтобы извлечь гармонические проявления жизни». В 1874 г. П. Ф. Лесгафт опубликовал работу «Основы естественной гимнастики», заложив тем самым основы новой учебной дисциплины — «Теории телесных движений», которая стала прообразом учебной и научной дисциплины «Биомеханика физических упражнений».

В 1896 г. П. Ф. Лесгафт организовал Курсы воспитательниц и руководительниц физического воспитания, которые впоследствии были реорганизованы в Государственный институт физического образования его имени. Позже институт был награжден орденами Ленина и Красного знамени и стал называться Государственным дважды орденоносным Институтом физической культуры (ГДОИФК). В 1939 г. под редакцией ученицы П. Ф. Лесгафта Е. А. Котиковой была издана первая в СССР книга по биомеханике физических упражнений. В 1963 г. на базе ГДОИФК имени П. Ф. Лесгафта была создана первая кафедра биомеханики.

Иван Михайлович Сеченов (1829—1905) — известный русский физиолог. Первоначальное образование он получил в Главном инженерном училище. После этого в 1856 г. И. В. Сеченов окончил медицинский факультет Московского университета и долго стажировался за границей у известных физиологов: Э. Дюбуа-Реймона, Г. Гельмгольца и К. Людвига. В 1863 г., работая в должности адъюнкт-профессора Санкт-Петербургской медико-хирургической академии, ученый издал свой самый известный труд «Рефлексы головного мозга». В этом труде он заложил физиологические основы психических процессов и показал рефлекторную природу поведенческих реакций человека.

Техническое и медицинское образование позволили И. М. Сеченову кроме исследований по физиологии внести солидный вклад в биомеханику двигательных действий. Он указывал, что «...сложные мышечные движения действительно мало доступны анализу со стороны состава и действующих в них мышц; тем более, что во многих случаях состав этот и условия действия мышц меняются во время самого движения. Но ведь в рабочем мышечном движении важна не эта сторона, а направление движения, его сила (т. е. производимое движением давление или тяга), протяжение (длина пути) и скорость — стороны, допускающие опытное измерение».

В 1901 г. вышла в свет книга «Очерк рабочих движений человека», в которой И. М. Сеченов подробно рассмотрел работу опорно-двигательного аппарата (ОДА) человека как двигательной машины (формы суставов, плечи сил тяги мышц), механику мышечного сокращения (факторы, определяющие силу мышцы и быстроту мышечных сокращений), биомеханические свойства мышцы (в частности, упругие свойства); функции верхней и нижней конечностей. Кроме этого, детальному биомеханическому анализу были подвергнуты некоторые рабочие движения (вращение рукою колеса), физические упражнения (сгибание рук в висе, присед, наклоны туловища, присед и вставание на одной ноге «пистолет»), а также ходьба человека (рис. 1.3). И. М. Сеченов одним из первых проанализировал влияние дыхания на двигательные действия.

Значительную роль в развитии отечественной биомеханики сыграла книга профессора Ленинградского университета, академика *Алексея Алексеевича Ухтомского* (1875—1942) «Физиология двигательного аппарата», изданная в 1927 г. В предисловии к этой книге ученый писал: «Критика древнейших понятий механики, вроде «силы», «давления», «сопротивления» и т. п., дала известное право утверждать, что человек строил их из безотчетных аналогий с тем, что он наблюдал при работе своей мускулатуры. Если это так, то непосредственный опыт над своей мускулатурой

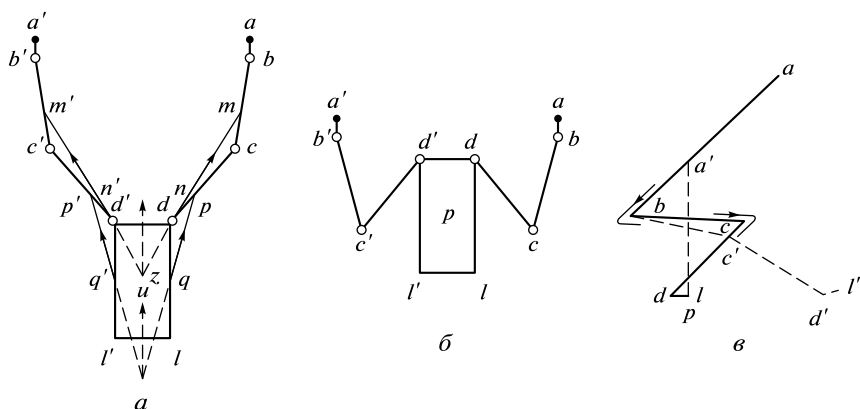


Рис. 1.3. Биомеханический анализ выполнения физических упражнений (И. М. Сеченов, 1901):

а, б — подтягивания в висе на перекладине; *в* — присед на одной ноге «пистолет»

был родоначальником всех наших представлений о движении и его законах... Построив вычислительную науку о движении и механизмах, человек возвращается к собственной мускулатуре с новой задачей — переработать свои сведения о ней по образцу учения о внешних механизмах». А. А. Ухтомский подробно рассмотрел вопросы, посвященные механическим свойствам мышц, энергетике мышечной деятельности, а также зависимость силы мышцы от анатомических и физиологических факторов.

В отдельный раздел книги были вынесены вопросы биомеханики ОДА. Звенья ОДА человека рассматривались с позиций теории машин и механизмов — как рычаги первого, второго и третьего рода. Соединение звеньев ОДА человека представлялись в виде кинематических пар и цепей. Была дана классификация суставов по степеням свободы и формула расчета степеней свободы.

Одним из первых А. А. Ухтомский высказал мысль о том, что управление движениями есть устранение избыточных степеней свободы. Он писал: «Для каждого отдельного момента движения нашего тела более или менее правильно действующие механизмы достигаются настолько, насколько устраняются все свободы перемещения, за исключением одной, а это достигается распределением тонуса, тетанического сокращения и расслабления (торможения) в мускулатуре». Пытаясь обозначить предмет биомеханики как науки, ученый указывал: «Биомеханика изучает ту же систему нервно-мышечных приборов как рабочую машину, т. е. задается вопросом, каким образом полученная механическая энергия движения и напряжения может приобрести определенное рабочее применение».

Николай Александрович Бернштейн (1896—1966) — выдающийся русский физиолог и биомеханик, много времени посвятил изучению биомеханики спортивных и трудовых движений. Он окончил медицинский факультет, а затем прослушал курс математического факультета Московского университета. В 1922 г. Н. А. Бернштейн возглавил лабораторию биомеханики в ЦИТе. Уже в 1926 г. 30-летний ученый опубликовал одну из первых книг, посвященных биомеханическому анализу строения ОДА и двигательных действий человека, — «Общая биомеханика». В этой книге он обобщил сведения из механики, анатомии и физиологии двигательного аппарата.

Параллельно с работой над книгой Н. А. Бернштейн с сотрудниками совершенствовал экспериментальные методики исследования двигательных действий человека. В результате была разработана методика кимоциклографии, которая представляла собой циклографическую съемку движения человека на равномерно перемещающуюся пленку. Благодаря новым методам Н. А. Бернштейн получил огромный фактический материал по кинематике и динамике ходьбы, бега и прыжка. Полученные результаты ученый обобщил в книге «Исследования по биодинамике ходьбы, бега и прыжка» (1940). Понимая недостаточность информации, получаемой от циклографической методики, Н. А. Бернштейн придавал большое значение электромиографии — методике регистрации биопотенциалов мышц. Он указывал: «Весь длительный опыт нашей экспериментальной работы над движениями человека показал, что случаи, когда при данном движении фактически напрягаются совсем другие мышцы, в другое время и другим образом, чем это ожидалось бы по элементарному анатомическому анализу, гораздо более часты, чем те, когда поведение мышц до конца понятно и классично».

Всемирную славу Н. А. Бернштейну принес труд «О построении движений» (1947). В этом исследовании ученый по-новому рассмотрел вопросы управления двигательными действиями, формирования двигательных навыков, а также онтогенез моторики. Незадолго до смерти в 1966 г. Н. А. Бернштейн опубликовал книгу «Очерки по физиологии движений и физиологии активности», в которой обобщил экспериментальные данные за 30-летний период своей деятельности. В 1991 г. в издательстве «Физкультура и спорт» вышла книга «О ловкости и ее развитии», которая не была издана при жизни Н. А. Бернштейна.

Большой вклад в изучение механизмов мышечного сокращения внес английский физиолог *Арчибалд Вивьен Хилл* (1886—1977). Он получил образование в Кембридже по двум специальностям: математика и естественные науки (химия, физика и физиология). В 1922 г. ученый получил Нобелевскую премию по физио-

логии и медицине «За открытия в области теплообразования в мышце». Занимаясь механикой мышечного сокращения, А. В. Хилл предложил аналитическое описание зависимости между скоростью укорачивающейся мышцы и значениями внешней нагрузки (характеристическое уравнение Хилла). При исследовании механики мышечного сокращения А. В. Хилл регистрировал кинематические характеристики спортсменов при беге с низкого старта (рис. 1.4). С этой целью он использовал принцип электромагнитной индукции. На бегуне закрепляли магнит, а вдоль беговой дорожки устанавливали электромагнитные катушки. Когда спортсмен пробегал возле катушек, в них возникал электрический ток, что фиксировали приборы. Так как расстояние между катушками было известно, кроме времени вычисляли также скорость и ускорение бегуна.

С 1960-х гг. в биомеханические исследования в области физической культуры и спорта было вовлечено большое количество исследователей. В 1967 г. в Цюрихе (Швейцария) состоялся первый Международный семинар по биомеханике. После этого каждые два года стали организовываться международные конференции по биомеханике. В 1973 г. начал издаваться журнал по биомеханике (*Journal of Biomechanics*). В том же году было основано Международное общество биомехаников — *International Society of Biomechanics* (ISB), а в 1980 г. — Международное общество спортивных биомехаников (*International Society of Biomechanics in Sport*). В 1985 г. стал издаваться международный журнал «Биомеханика спорта» (*Journal of Sports Biomechanics*, с 1992 г. —

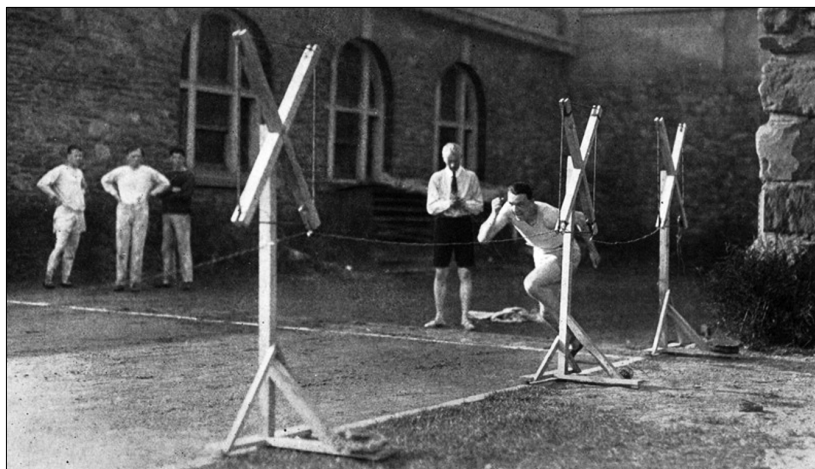


Рис. 1.4. Измерение посредством электромагнитной индукции ускорения бегуна при беге с низкого старта (А. Hill, 1927)

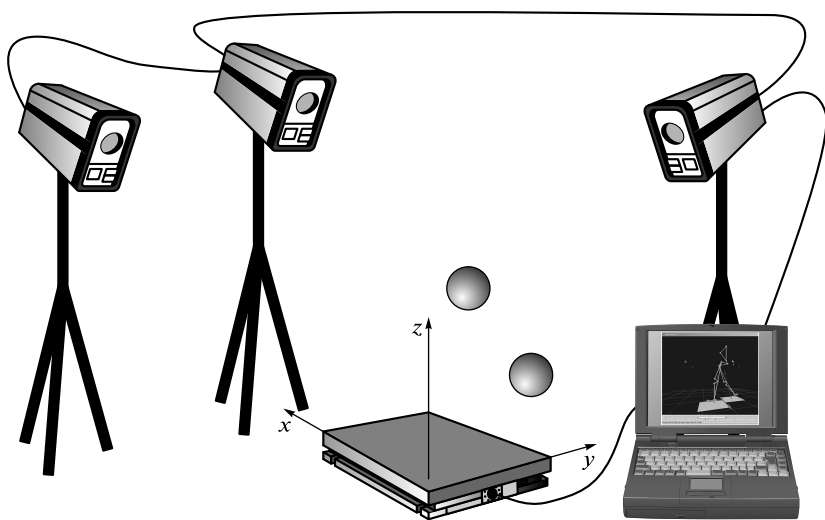


Рис. 1.5. Программно-аппаратный комплекс фирмы *Qualisys*

Journal of Applied Biomechanics), а с 1997 г. — «Российский журнал биомеханики».

Конец XX — начало XXI в. ознаменовались внедрением в биомеханику информационных технологий. При этом возросли возможности биомеханики как учебной и научной дисциплины. В настоящее время разработаны электронные учебники и компьютерные программы, применяемые при изучении дисциплины «Биомеханика» в институтах физической культуры. Широкое распространение получили программно-аппаратные комплексы (ПАК), позволяющие в режиме реального времени обрабатывать данные, поступающие в компьютер. Примером одного из таких комплексов является система регистрации движений фирмы *Qualisys* (рис. 1.5). При выполнении двигательного действия в компьютер одновременно поступает информация с видеочкамер, динамометрической платформы, а также от электромиографической аппаратуры. Эту информацию обрабатывает компьютер, после чего результаты представляются в табличном и графическом видах.

В настоящее время в биомеханике активно развивается компьютерное моделирование, позволяющее создавать новые варианты движения на основе знаний законов биомеханики, биомеханической структуры двигательных действий и имеющихся данных о биомеханических характеристиках спортсменов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Кто считается первым биомехаником и почему?
2. Охарактеризуйте вклад Галена и Леонардо да Винчи в биомеханику.
3. Какой вклад в биомеханику внес Джованни Борелли? Как называлась книга о движениях животных?
4. Опишите историю совершенствования оптического метода регистрации движений — одного из основных методов, применяемых в биомеханике.
5. Какие методы исследования, используемые в биомеханике, разработал Э.-Ж. Маре?
6. Какой вклад в развитие биомеханики внесли русские ученые П. Ф. Лесгафт, И. М. Сеченов и А. А. Ухтомский?
7. Охарактеризуйте вклад в биомеханику Н. А. Бернштейна.
8. Чем знаменуется современный этап развития биомеханики как учебной и научной дисциплины?