

Самсонова, А.В. История биомеханики /А.В. Самсонова // Труды кафедры биомеханики: Междисциплинарный сборник статей /НГУ им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург; сост. А.В. Самсонова, С.А. Пронин.- СПб.: Из-во "Олимп", 2009.– Вып.2.– С. 4-15.

ИСТОРИЯ БИОМЕХАНИКИ

А.В.Самсонова

Зарождение биомеханики как науки

«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

Движения живых существ интересовали человека с давних времен. Однако отсутствие научных методов их изучения ограничивало возможности оценки значения механизмов, лежащих в основе движений. Тем не менее, такие ученые, как **Аристотель, Клавдий Гален, Леонардо да Винчи**, заложили основы науки о движениях человека и животных.

Аристотель (384-322 до н.э.) – выдающийся греческий ученый, предпринял первые попытки классификации движений животных и человека. Он пытался понять значение реакции опоры при ходьбе, считал целесообразным сгибание ноги в колене в фазу опоры, так как это позволяло уменьшить вертикальные колебания туловища. Аристотель может считаться первым биомехаником, так как написал

трактаты: «De Motu Animalium» – «Движения животных» и «On the Gait of Animals» – «Ходьба животных» (P.R.Cavanagh, 1990).

Велик вклад в изучение функций организма человека **Клавдия Галена** (129 – 201 г.г. н.э.) – анатома, врача и естествоиспытателя, который считается классиком античной медицины. Клавдий 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 опровергал мнение Аристотеля о мозге как о железе, выделяющей слизь для охлаждения теплоты сердца. Он считал, что мозг является средоточием движения, чувствительности и душевной деятельности (Большая Советская Энциклопедия).

В развитии биомеханики особенно велика роль **Леонардо да Винчи** (1452 – 1519) – выдающегося

итальянского живописца, скульптора, архитектора, учёного и инженера. Как художник, Леонардо да Винчи большое внимание уделял изучению анатомии, особенно пропорций человеческого тела. Сохранилось огромное количество рисунков Леонардо да Винчи, посвященных исследованию расположения мышц и внутренних органов (Тетради по анатомии, рис. 1). Леонардо да Винчи придавал особое значение точным наукам в изучении функций человека. «Пусть не читает меня в основах моих тот, кто не математик» –

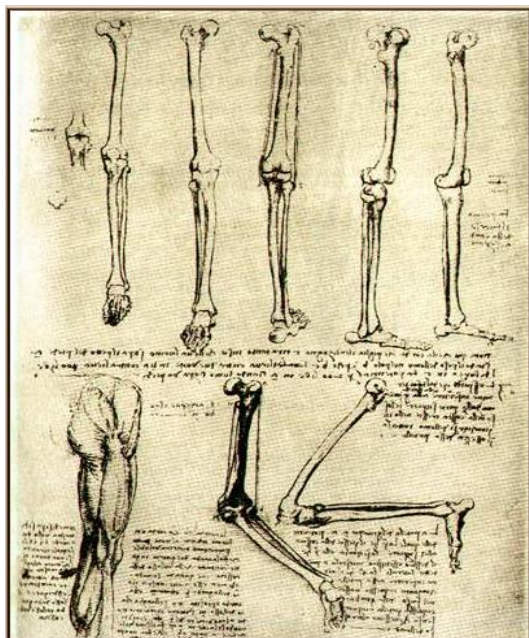


Рис. 1. Тетради по анатомии
Леонардо да Винчи

века. «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. Он писал: «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 Леонардо да Винчи, обобщая результаты вскрытий, рассматривал организм как образец «природной механики». Леонардо да Винчи впервые описал функции некоторых костей и нервов, высказал новаторские предположения об антагонизме мышц. В опытах с удалением различных органов у животных Леонардо да Винчи стремился ввести экспериментальный метод в биологию. Как учёный 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 относясь к популярному в его эпоху идеалу учёного-эрудита, Леонардо да Винчи был наиболее ярким представителем нового, основанного на эксперименте естествознания.

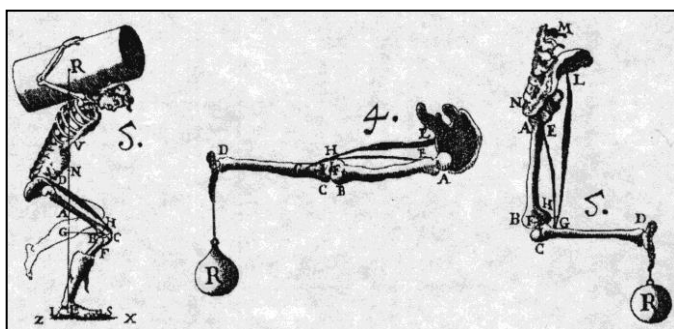


Рис. 2. Иллюстрации из книги Джованни Борелли «De Motu Animalium»

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, рассмат-

ривал мышцы и опорно-двигательный аппарат животных и человека с позиций механики (рис. 2). 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») 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. Книга вышла в свет в 1680 году в Риме после смерти Дж. Борелли.

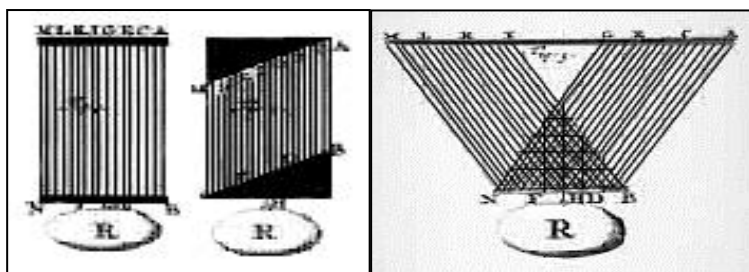


Рис.3. Схема работы веретенообразной и перистой мышц (по: A.Borelli, 1680)

Кроме того, он рассмотрел работу веретенообразных и перистых мышц (рис. 3); привел первые модели мышц (рис. 4), а также описал

движения живых существ: ходьбу, бег, плавание, полет.

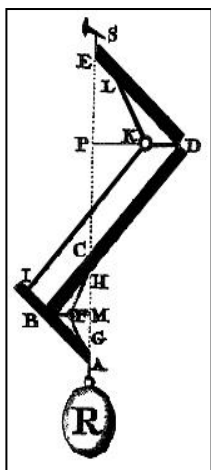


Рис. 4. Модель икроножной мышцы (по: A.Borelli, 1680)

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 были заложены основы дифференциального и интегрального исчисления, была опубликована в 1686 году, через семь лет после смерти Борелли (В.Т.Назаров, 1974).

Последующее развитие биомеханики как науки связано с трудами немецких ученых – братьев **Эдуарда и Вильгельма Веберов**. Эдуард Вебер был анатомом, а Вильгельм – физиком. В 1836 году

они издали книгу «Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge» – «Механика ходьбы человека» (Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона). 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 Э. Вебером: *«Сила мышц, при прочих равных условиях, пропорциональна ее поперечному сечению»* (Е.К.Жуков, Е.Г.Котельникова, Д.А.Семенов, 1963).

Роль научных методов в развитии биомеханики

“...наука движется толчками в зависимости от успехов, делаемых методикой. С каждым шагом методики вперед, мы как бы поднимаемся ступенью выше, с которой открывается нам более широкий горизонт, с невидимыми ранее предметами”.

И.П. Павлов

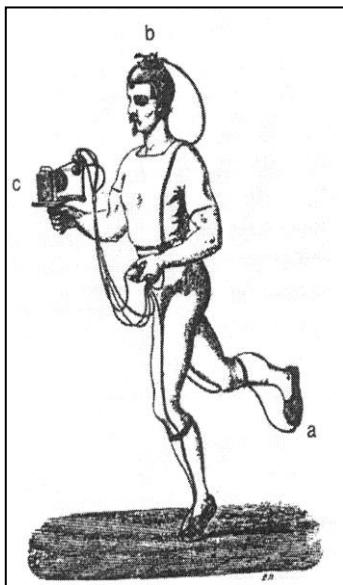


Рис. 5. Пневмография по
Э.Ж.Марейю

Проникновение в биомеханику подлинно научных методов исследования связано с французским изобретателем **Жаком Луи Дагером** (1787 – 1851). В 1839 году им был разработан первый практический способ фотографии.

Дальнейший шаг по внедрению научных методов исследования в биомеханику был сделан французским физиологом **Этьеном-Жюлем Мареем** (1830-1904). Э.Ж. Марей разработал метод пневмографии – записи опор-

ных реакций с помощью передачи давления воздуха. В подошвы ботинка человека встраивались воздушные камеры. Во время опоры давление воздуха в камере повышалось, оно передавалось по трубкам на прибор, который испытуемый держал в руке (рис.5). Это

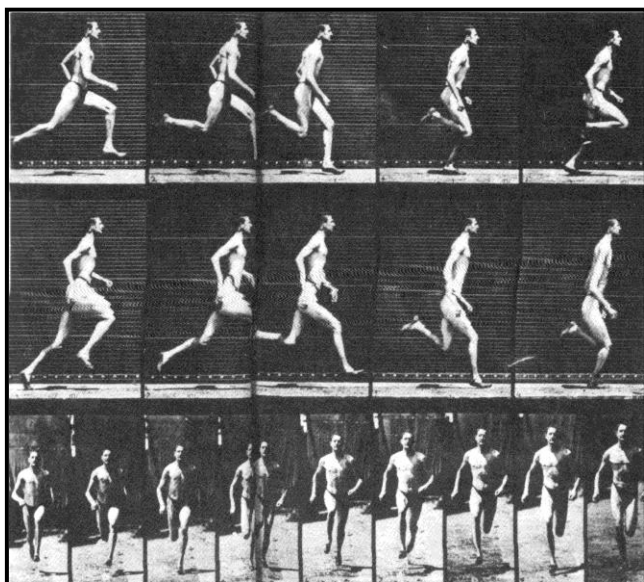


Рис. 6. Бег человека в
трех плоскостях.
Фотосъемка Э.Майбриджа

позволило определить длительность периодов опоры и полета при ходьбе и беге. Более серьезным изобретением Э.Ж. Марей является силовая платформа, позволяющая регистрировать величину реакции опоры при отталкивании (P.R.Cavanagh, 1990). В 1877 году американский фотограф **Эдвард Майбридж** (1830-1904), пытаясь разрешить спор о по-

ложении лошади во время быстрого бега, поставил в ряд 12 фотокамер, а вдоль беговой дорожки натянул тонкие нити. Лошадь при беге обрывала нити и спускала затвор камеры. Результатом стали серии фотографий, показывающих точное положение лошади в различные моменты времени. В 1887 году Эдвард Майбридж опубликовал труд «Движения животных: электрофотографическое исследование последовательных фаз движений животных. 1872-1885», в котором представил более 20000 снимков различных движений человека и животных (рис. 6).

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



Рис.7. Хронофотография прыжка

В 1880 году Э.Ж. Марей изобрел хронофотографию – фотографирование всего движения на одну пластинку. Чтобы это сделать, перед фотоаппаратом устанавливался вращающийся диск с прорезями. Когда прорезь открывала доступы светового потока к объективу, на пластине фиксируется положение человека. В результате съемки на одной пластине получается ряд положений человека в последовательные моменты времени. Первые хронофотографии были очень плохого качества, рис. 7

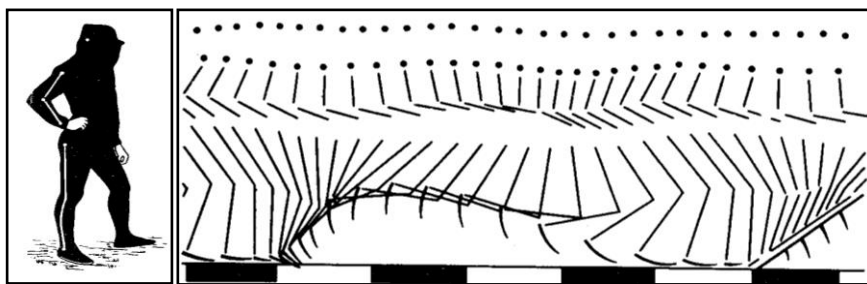


Рис. 8. Испытуемый, подготовленный для проведения эксперимента (слева) и хронофотография бега по Э.Ж. Марею

(Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона). В дальнейшем Этьен-Жюль Марей 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 (рис. 8). Благодаря узости этих спичек он мог заснимать фазы движения гораздо более часто, не боясь, что одна фигура наложится на другую. (Н.А. Бернштейн, 1990.– С. 252). Следующий шаг вперед был связан с заменой светящихся полосок яркими маркерами, которые крепились на центры суставов. Хронофотография уступила место циклографии.

В конце XIX века немецкие ученые **Вильгельм Брауне** и **Отто Фишер** опытным путем (на нескольких замороженных трупах) определили относительный вес отдельных частей тела человека (головы, туловища, плеча, предплечья и т.д.), а также положение центров тяжести звеньев тела. Это позволило начать экспериментальное изучение динамики двигательных действий.

Вклад русских ученых в развитие биомеханики

«...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».

И.М. Сеченов

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

Петр Францевич Лесгафт (1837 – 1909) – известный анатом,

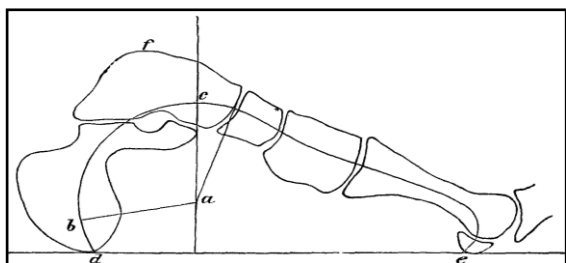


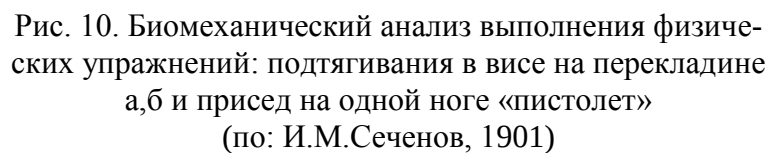
Рис .9. Строение свода стопы
(по П.Ф. Лесгафт, 1905)

педагог, основал высшее учебное заведение, которое носит теперь его имя (Национальный университет физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф.Лесгафта). В своем труде «Основы теоретической анатомии»,

первое издание которого датируется 1892 годом, П.Ф. Лес-

гафт рассмотрел ряд проблем, смежных с биомеханикой: механические свойства биологических тканей; особенности строения и соединения костей в зависимости от действующих на них сил (рис.9); особенности функционирования перистых мышц; 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). П.Ф.Лесгафт писал: « ...мышцы по преимуществу сильные начинаются и прикрепляются к большим поверхностям, удаляясь по мере увеличения поверхности прикрепления от опоры рычага, на которой он действует; физиологический поперечник таких мышц относительно мал, несмотря на что они могут проявить большую силу при небольшом напряжении, почему и не так легко утомляются. Они действуют преимущественно всею своею массою и не могут производить мелких оттенков при движении; силу свою они проявляют с относительно малою скоростью и состоят чаще всего из коротких мышечных волокон. Мышцы второго типа, отличающиеся ловкостью в своих действиях, начинаются и прикрепляются на небольших поверхностях, близко к опоре рычага, на который действуют; физиологический поперечник их относительно велик, они действуют с большим напряжением, скорее утомляются, состоят чаще всего из длинных волокон и могут действовать отдельными своими частями, производя различные оттенки движений. Это будут мышцы, допускающие главным образом ловкие и быстрые движения» (П.Ф.Лесгафт, 1905, С. 249-250).

Иван Михайлович Сеченов (1829-1905) – известный русский физиолог, окончил медицинский факультет Московского университе-



Значительную роль в развитии отечественной биомеханики сыграла книга профессора Ленинградского университета, академика **Алексея Алексеевича Ухтомского** (1875 – 1942) «Физиология двигательного аппарата», изданная в 1927 году. В предисловии к этой книге А.А. Ухтомский 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 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, 1927, С. 1). В книге «Физиология двигательного аппарата» А.А. Ухтомский (1927) подробно рассмотрел вопросы, посвя-

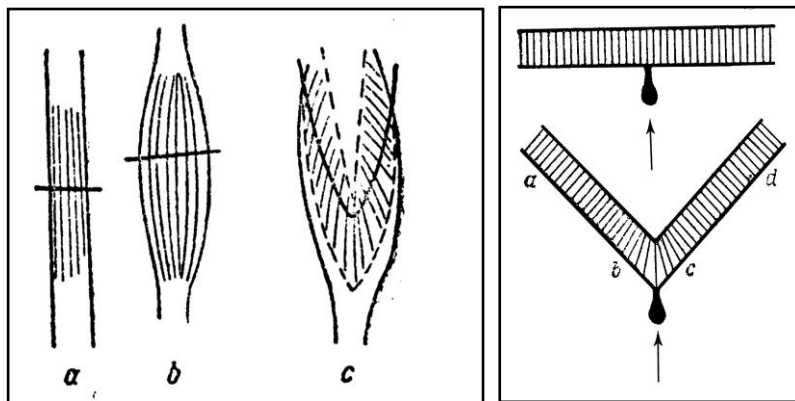


Рис.11. Схема определения анатомического и физиологического поперечников мышц (слева) и работы мышцы с прямым и косым ходом мышечных волокон (по: А.А.Ухтомский, 1927)

щенные механическим свойствам мышц, а также зависимость силы мышцы от анатомических и физиологических факторов (рис. 11).

Очень подробно изложены вопросы энергетики мышеч-

ной деятельности. В отдельный раздел вынесены вопросы биомеханики ОДА. Звенья ОДА человека рассмотрены с позиций теории машин и механизмов – как рычаги первого, второго и третьего рода. Соединение звеньев ОДА человека представлено в виде кинематических пар и цепей. 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, титанического сокращения и расслабления (торможения) в мускулатуре» (А.А.Ухтомский, 1927, С. 150). Пытаясь обозначить предмет биомеханики как науки, он указывал: «Биомеханика изучает ту же систему нервно-мышечных приборов как рабочую машину, то есть задается вопросом, каким образом полученная механическая энергия движения и напряжения может приобрести определенное рабочее применение» (А.А.Ухтомский, 1927, С.140).

Биомеханика на рубеже веков и тысячелетий

«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 исчерпать гармонические проявления жизни».

П.Ф. Лесгафт

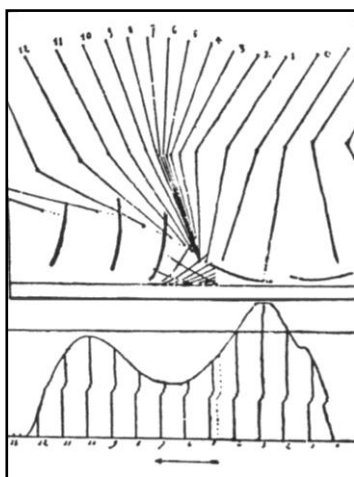


Рис. 12. Хронограмма движений нижней конечности и синхронная регистрация опорной реакции при ходьбе по: Э.Ж. Марейю

В конце XIX века стало ясно, что дальнейшее развитие биомеханики требует применения не только высокоточных, но комплексных методик. Этьен Жюль Марей один из первых сумел синхронизировать две экс-

периментальные методики, сопоставив опорную реакцию в фазе отталкивания в ходьбе с хронофотографией (рис. 12).

Николай Александрович Бернштейн (1896 – 1966) – выдающийся русский физиолог и биомеханик, много времени посвятил изучению биомеханики спортивных и трудовых движений.

В начале 20-х годов XX века он, используя методику циклосъемки, получил огромный фактический материал по кинематике и динамике ходьбы, бега и прыжка. Полученные результаты Н.А. Бернштейн обобщил в книге «Исследования по биодинамике ходьбы, бега и прыжка», которая была опубликована в 1940 году. 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» (Н.А. Бернштейн, 1990.– С. 30). Всемирную славу Н.А. Бернштейну принес труд "О построении движений", вышедший в свет в 1947 году. В этом исследовании Н.А. Бернштейн по-новому рассмотрел вопросы управления двигательными действиями, формирования двигательных навыков, а также онтогенез моторики.

Большой вклад в изучение механизмов мышечного сокращения внес английский физиолог **Арчибалд Вивиен Хилл** (1886-1977). В 1923 году он получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине «За открытия в области теплообразования в мышце». Будучи по образованию математиком (закончил Кембриджский Университет), Арчибалд Хилл предложил описание зависимости скорости укороче-

ния мышцы от значений внешней нагрузки (характеристическое уравнение Хилла).

Конец XX и начало XXI знаменуется 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. Пример

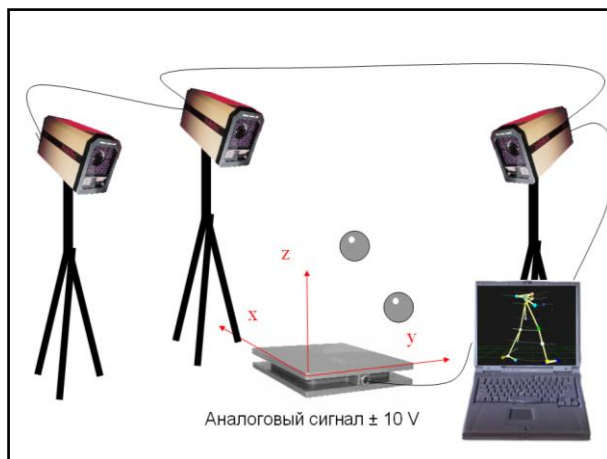


Рис. 13. Программно-аппаратный комплекс фирмы Qualisys

ром одного из таких комплексов является система регистрации движений фирмы Qualisys (рис. 13).

При выполнении двигательного действия в компьютер одновременно поступает информация с видеокамер, тензодинамометрической платформы, а также от электромиографической методики.

Эта информация обрабатывается компьютером, после чего результаты представляются в табличном и графическом видах.

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

Литература

1. Бернштейн Н.А. (1947) О построении движений.— М.: Наука, 1990.— С. 11- 242.
2. Бернштейн Н.А (1935). К истории изучения движений.— М.: Наука, 1990.— С. 248 - 259.
3. Жуков Е.К., Котельникова Е.Г., Семенов Д.А. Биомеханика физических упражнений. — М.: Физкультура и спорт, 1963.— 259 с.
4. Лесгафт П.Ф. Основы теоретической анатомии. Изд. 2-е ч.1.— СПб: Товарищество Художественной печати, 1905.— 351 с.
5. Назаров В.Т. Из истории аналитической биомеханики //В кн.: Биомеханика физических упражнений.— Вып. 1.— Рига, 1974.— С. 3-25.
6. Сеченов И. Очерк рабочих движений человека.— М.: И.Н.Кушнерев и К^о.— 1901.— 139 с.
7. Ухтомский А.А. Физиология двигательного аппарата.— Л.: ЛГУ, 1951.— С. 165.
8. P.R.Cavanagh The Mechanics of Distance Running: A Historical Perspective / In Biomechanics of Distance Running: Champaign, Illinois: Human Kinetics Books, 1990.- P.1-34.

Электронные ресурсы

1. Большая Советская Энциклопедия.— Электронное издание.
2. Леонардо да Винчи Тетради по анатомии.— Леонардо Да Винчи — гений неподвластный времени.— Электронная энциклопедия, 2004.
3. Фоменко А. Эдвард Майбридж //www.prophotos. ru
4. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона.— IDDK, 2002.