АВТОМАТИЗАЦИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Биомеханический контроль можно осуществлять по-разному Самое простое — наблюдать и записывать результаты наблюдений. Но при этом многое будет упущено и никто не сможет поручиться за точность полученных результатов.

Гораздо плодотворнее, хотя и сложнее, автоматизированный контроль. Можно сказать, что в наши дни ленинская формула «от живого созерцания —к абстрактному мышлению и от него — к практике» приобрела новый смысл. Сегодня процесс «живого созерцания», наблюдения за объектом исследования немыслим без использования измерительной аппаратуры.

Все измерительные системы в биомеханике включают в себя датчики биомеханических характеристик с усилителями и преобразователями, канал связи и регистрирующее устройство. В последние годы все чаще используют запоминающие и вычислительные устройства, значительно расширяющие возможности педагога. Для повышения точности биомеханического контроля привлекаются все новинки инженерной мысли: радиотелеметрия, лазеры, ультразвук, инфракрасное излучение, радиоактивность, телевидение, видеомагнитофоны, вычислительная техника.

Датчики биомеханических характеристик

Датчик — первое звено измерительной системы. Датчики непосредственно воспринимают изменения измеряемого показателя и закрепляются либо на теле человека, либо вне его.

Датчик, закрепляемый на человеке, должен иметь минимальный вес и габариты, высокую механическую прочность, удобство крепления и вместе с тем не должен стеснять движений и создавать какого-либо дискомфорта. На теле человека размещаются: маркеры суставов (рис. 35, 36), электромиографические электроды (см. рис. 3), датчики суставного угла (Их чаще называют гониометрическими (от слов gonios — угол, metreo — измеряю); кроме измерения суставных углов, гониометрические датчики применяются для измерения угловых перемещений в спортивном инвентаре, например угла поворота весла в уключине) и ускорения (рис. 37).

Но уже давно замечено, что точность биомеханического контроля выше, если движения человека ничем не стеснены. Поэтому биомеханические датчики стараются размещать на спортивном инвентаре, чтобы условия, в которых осуществляется контроль, не отличались от естественных условий тренировок и соревнований.

Популярными стали динамографические платформы. Они устанавливаются скрытно в секторе для прыжков или метаний, под покрытием беговой дорожки, гимнастического помоста, игровой площадки и т. п. Наиболее совершенные динамоплатформы позволяют измерить все три составляющие силы (вертикальную и две горизонтальные) и, кроме того, скручивающий момент в точке приложения силы, причем результат измерения не зависит от того, к какой точке приложена сила.

Чувствительными элементами в динамографической платформе служат пьезоэлектрические датчики (похожие на тот, что находится в звукоснимателе электропроигрывателя) или менее хрупкие датчики силы — тензометрические (тензодатчики) (Об устройстве биомеханических датчиков и о физических явлениях, лежащих в основе их конструкции, можно прочитать в кн.: Утки н В. Л. Измерения в спорте (введение в спортивную метрологию).— М., 1978.—-С. 103—120; Миненков Б. В. Техника и методика тензометрических исследований в биологии и медицине.— М., 1976).

Рис. 37. «Экзоскелет» — система для крепления гониометрических (1) и акселерометрических (2) датчиков на теле человека; предусмотрена возможность подгонки экзоскелета к длинам сегментов руки и ноги (по А. Н. Лапутину)

Тензодатчики применяются для измерения силы во многих видах спорта. В гимнастике их наклеивают на перекладину, брусья, кольца, ручки коня и т. д. В тяжелой атлетике — на гриф штанги. В стрелковом спорте и биатлоне — на спусковой крючок, ложе и приклад. В гребле — на конус уключины или весло (между рукояткой и уключиной), на подножку и на банку. В велосипедном, конькобежном и лыжном спорте для измерения силы немного видоизменяют конструкцию педали, конька, лыжи и лыжной палки, причем эти изменения никак не сказываются на естественной технике движений. В легкой атлетике применяют тензостельки, которые вкладывают в спортивную обувь. Интересно, что появились кроссовки с тензостельками и миниатюрным компьютером, который автоматически подсчитывает темп и силу отталкивания и сигнализирует тренирующемуся человеку, если сила отталкивания и частота шагов выше или ниже оптимальной.

Тензодатчики используют не только для измерения силы, но и для измерения ускорения, а также для регистрации колебаний тела (рис. 38). В этом случае Тензодатчики наклеивают на вертикальный стержень, соединяющий центры нижней и верхней площадки стабилографической платформы. Стабилограмма показывает, сколь велика способность человека сохранять устойчивость тела, которая служит важным фактором достижений в гимнастике, акробатике, гребле, фигурном катании и т. д. Кроме того, стабилография полезна при лечении людей с нарушенной способностью сохранять равновесие, при тестировании состояния нервной системы (например, перед соревнованиями).

Подобно тензодатчикам, не искажают естественных движений и фотоэлектрические датчики, в которых электрический ток возникает под действием света. Они используются для измерения скорости ходьбы и бега. Бегун (а также конькобежец, лыжник и др.) во время движения прерывает световые лучи, падающие на фотоэлементы (рис. 39). Поскольку каждая оптронная пара (источник света — фотоэлемент) находится на определенном расстоянии (S) от следующей, а время (Dt) преодоления этого расстояния измеряется, легко вычислить среднюю скорость на этом отрезке дистанции:

Если источник света (например, лазер) дает узконаправленный луч, то можно измерить длительность и длину каждого шага. Эта информация полезна при подготовке спринтеров, прыгунов и барьеристов.

Телеметрия и методы регистрации биомеханических характеристик

Для того чтобы использовать информацию от биомеханических датчиков, ее нужно передать по телеметрическому каналу и зарегистрировать.

Термин «телеметрия», составленный из греческих слов tele —далеко и metron —мера, означает «измерение на расстоянии». Информацию о результатах измерений можно передавать по проводам, по радио, посредством лучей света и инфракрасных (тепловых) лучей.

Проводная телеметрия проста и устойчива при помехах. Ее основной недостаток—невозможность передавать по проводам сигналы с датчиков, размещенных на теле человека, находящегося в движении. Поэтому проводную телеметрию следует использовать в сочетании с динамографической платформой или стационарно установленным спортивным инвентарем, оснащенным датчиками биомеханических характеристик.

Приведем пример. Для регистрации динамограммы воднолыжника (рис. 40) нужно приклеить тензодатчики к установленной на корме катера вертикальной стойке. К верхней части стойки прикрепляется конец фала, за другой конец которого держится воднолыжник. В этом случае электрический сигнал от тензодатчиков к регистрирующему прибору (который также размещен на катере) целесообразно передать по проводам.

Радиотелеметрия — это отрасль радиотехники, обеспечивающая передачу по радио информации о результатах измерений.

Радиотелеметрия дает возможность контролировать технико-тактическое мастерство человека в естественных условиях двигательной деятельности. Для этого он должен нести на себе биомеханические датчики и миниатюрное передающее устройство радиотелеметрической системы. Пример радиотелеметрической записи биомеханической информации представлен на рис. 41. Изображенные на нем электромиограммы получены в легкоатлетическом манеже, под беговой дорожкой которого уложена приемная антенна радиотелеметрической системы.

Рис. 41. Радиотелеметрическая запись электромиограмм у бегущего человека:

1 — большая ягодичная м.; 2 — прямая м. бедра; 3 — латеральная широкая м. бедра? 4 — двуглавая м. бедра; 5 — передняя большеберцовая м.; 6 — икроножная м.; 7 — камбаловидная м.; одинарная косая штриховка — уступающая работа; двойная косая штриховка — преодолевающая работа (по И. М. Козлову)

Вопрос для самоконтроля знаний

Какие варианты телеметрии могут быть использованы для регистрации силы отталкивания от опоры:

а) в лыжных гонках;

б) в прыжках в длину;

в) в художественной гимнастике?

Регистрация электрических сигналов, содержащих информацию о результатах биомеханического контроля, осуществляется самописцами и индикаторами различных конструкций. При записи результатов измерений остается документ (график на бумаге, магнитная запись, фотография и т. п.). В отличие от записи индикация состоит в восприятии получаемой информации зрительно или на слух.

Самописцы помогают узнать, как один или сразу несколько измеряемых показателей изменяются во времени (см. рис. 40, 41). Но есть и двухкоординатные самописцы, вычерчивающие график зависимости одного показателя от другого. Они дают педагогу дополнительные возможности. Так, на рис. 42 помещены автоматически вычерченные зависимости силы, прикладываемой к веслу, от горизонталь-; ного перемещения весла. Площадь, ограниченная такой • кривой, пропорциональна величине внешней механической работы.

Задание для самоконтроля и закрепления знаний Подвергните последнее утверждение критическому анализу и докажите его справедливость или ошибочность.

Регистрация изображения издавна приносит большую практическую пользу в физическом воспитании и спорте.

Спортивные соревнования — увлекательное зрелище. В таких видах спорта, как гимнастика и фигурное катание, успех спортсмена прямо зависит от красоты и выразительности движений. В других видах спорта внешняя картина движений имеет хотя и второстепенное, но тоже очень важное значение, поскольку от нее зависит сила, быстрота и точность двигательных действий. Да и в повседневной жизни важно умение красиво двигаться.

Кинематику движений регистрируют оптическими методами, которые непрерывно совершенствуются начиная с 1839 г., когда Франсуа Араго на заседании Французской академии наук сообщил об открытии фотографии («светописи»). Уже в 1882 г. Э. Ж. Марей установил перед объективом фотоаппарата вращающийся диск с прорезями и впервые получил на одной фотопластинке несколько поз движущегося человека («хронофотограмму»).

Другое нововведение, названное впоследствии Н. А. Бернштейном циклосъемкой, состояло в том, чтобы регистрировать лишь схематическое изображение тела. С этой целью на голове и суставах человека или в определенных точках спортивного снаряда укрепляют миниатюрные электрические лампочки или отражатели света (см. рис. 35, 36). При этом на фотопластинке фиксируется последовательность светящихся точек («циклограмма»). Соединив точки, относящиеся к какому-либо суставу, получим траекторию этого сустава (рис. 43).

Рис. 42. Графическая регистрация (самописцем) или индикация (на электронно-лучевом индикаторе) зависимости между силой, прикладываемой к рукоятке весла, и горизонтальным перемещением весла в двух циклах гребли; внизу — лодка, оборудованная измерительной аппаратурой:

1 — вычислительное устройство и электронно-лучевой индикатор; 2 — датчик углового перемещения весла; 3 — тензодатчик (по А. П. Ткачуку)

По мере совершенствования измерительной аппаратуры были освоены стереосъемка, позволяющая получать трехмерное изображение, и высокоскоростная съемка, дающая возможность регистрировать быстропротекающие процессы (рис. 44).

Многообразие способов оптических измерений наглядно иллюстрирует рис. 45. Из слов, написанных на рисунке, могут быть составлены названия большинства известных способов регистрации внешней картины движений. Например, низкоскоростная плоскостная видеоциклосъемка — это съемка маркеров на теле человека одной видеокамерой с обычной частотой кадров.

Рис. 44. Кинограмма отскока теннисного мяча от площадки; при высокоскоростной съемке (4000 кадров в секунду) видно, как меняется форма мяча (по Hay)

Обратите внимание, что современная видеотехника постепенно вытесняет методы кино- и фотоизмерений. Благодаря видеозаписи возможен тщательный и объективный анализ техники и тактики. Это и мощное обучающее средство. Видеомагнитофон дает возможность посмотреть на себя со стороны. А ведь «лучше один раз увидеть, чем семь раз услышать». Многократный просмотр видеозаписи, стоп-кадр; замедленное воспроизведение позволяют обнаружить ошибки и наметить пути их устранения. Наконец, видеозапись долговечнее кинопленки. И при всех этих достоинствах современные цветные видеомагнитофоны (например, «Электроника ВМ-12») сравнительно дешевы и общедоступны.

Биомеханический контроль и ЭВМ

Биомеханический контроль — необходимая, но очень трудоемкая работа. И это главная причина, почему он не применяется в каждой школе и спортивной команде.

На рис. 46 схематически изображены 10 поз бегущего человека, масса тела которого 70 кг. Эти графики получены в результате плоскостной циклосъемки. Вертикальные и горизонтальные координаты шести суставов, центра масс головы и кончика стопы помещены в таблицу 9.

Приведенных данных достаточно для того, чтобы вычислить скорости и ускорения основных сегментов тела, определить координаты общего центра масс в каждой позе, построить кинематические графики ( Кинематическими графиками принято называть графики, показывающие, как изменяются во времени координаты, скорости и ускорения частей тела).

Рис. 46. Киноциклограмма бега человека (по Д. Д. Донскому, Л. С. Зайцевой)

Задание для самостоятельной работы

Выполнить все перечисленные расчеты и построения.

Выполнив это задание, вы убедились в том, что трудоемкость биомеханического контроля действительно очень велика. Но немало времени ушло и на составление таблицы 9. А теперь представьте себе, что всю необходимую информацию вы получили не затрачивая труда, сразу после того, как исследуемый человек закончил выполнять упражнение. Не правда ли, это уже из области научной фантастики? Тем не менее сегодня такая фантастическая возможность стала реальной, и случилось это благодаря достижениям электронно-вычислительной техники.

С созданием ЭВМ, значение которых академик Н. Н. Моисеев сравнивает с покорением огня, связан важнейший этап научно-технической революции XX в. «Совершенствуя в течение тысячелетий свои рабочие органы и органы чувств, человек до середины XX в. сохранял за своим мозгом функцию промежуточного звена между ними.

...Но при современном уровне развития науки и техники умственная нагрузка человека... стала огромной, а подчас изнурительной и непосильной. Дальнейшее развитие человечества потребовало «достройки» естественной системы управления — человеческого мозга... Из этой потребности и родилась... электронно-вычислительная техника» ( Цитата (с сокращениями) заимствована из книги И. М. Фейгенберга «Мозг, психика, здоровье» (М., 1972.— С. 32)).

Примечание. В числителе горизонтальные, в знаменателе вертикальные координаты маркеров, см.

Как известно, ЭВМ делятся на универсальные и специализированные. Универсальные ЭВМ (в том числе персональные компьютеры) дают возможность решать многие задачи биомеханического контроля. В том числе:

— вычисления и графические работы, подобные тем, что вы сделали, выполняя задание на с. 75 и более сложные;

— тестирование двигательных качеств;

— выявление оптимальных вариантов техники и тактики путем их математического и имитационного моделирования на ЭВМ (см. рис. 23, 24);

— контроль за эффективностью техники и тактики.

Последнее проиллюстрируем представленными на рис. 47 результатами динамографического контроля за симметричностью позы при стоянии человека. Такой контроль не только позволяет дать полезные для здоровья рекомендации, но и необходим при индивидуальном пошиве спортивной обуви. Рисунок показывает, что два пальца левой ноги не взаимодействуют с опорой. Следовательно, под эти пальцы следует положить супинатор.

Даже эти немногие примеры дают представление о том, насколько применение вычислительной техники в биомеханическом контроле расширяет возможности педагога. Недаром умение пользоваться ЭВМ называют второй грамотностью.