

А.Ф. Кононов, Б.И. Хлабустин

**СИЛОМОМЕНТНОЕ КРЕСЛО.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ**

Оценка параметров двигательной активности современного человека важна в различных областях его жизнедеятельности. Существует множество средств, предназначенных для анализа движений. Контактные системы регистрации движений используют либо трехкомпонентные акселерометры, либо гониометры, которые крепятся к сегментам тела человека. К недостаткам таких систем относится то, что установка механических гониометров ограничивает свободное поведение, а использование гироскопов и акселерометров приводит к необходимости длительного интегрирования и, как следствие, неконтролируемому росту погрешности. В многосвязных системах также имеется проблема начальной выставки акселерометров и гироскопов относительно друг друга. Большинство описанных недостатков лишены оптические системы захвата и анализа движений, такие как Vicon, Qualysis, Simi, Peak Perfomance и др., но высокая цена ограничивает область их применения [1].

Однако при использовании всех перечисленных систем анализа движений одна из его важнейших характеристик – энергозатраты – трудно поддается оценке, поскольку они позволяют регистрировать только внешние характеристики движения: траектории, скорости и ускорения, т.е. кинематику, а вычисление сил и моментов вызывает большие сложности.

В ЗАО «ОКБ «РИТМ» разработан новый реабилитационно-диагностический комплекс «Стабилан-01-3», основой которого является силомоментное кресло. Очувствление кресла имеет целью, во-первых, условно бесконтактно исследовать состояние человека в процессе деятельности; и, во-вторых, с помощью биологической обратной связи различной модальности проводить реабилитацию людей с двигательными нарушениями.

Рассмотрим некоторые аспекты, которые необходимо учитывать при анализе сигналов, полученных с помощью описываемого комплекса.

Сидящий человек в процессе своей деятельности взаимодействует с окружающей его средой: креслом, опорой под ногами, мебелью и т.п. Необходимо учитывать то важное обстоятельство, что поскольку кресло является всего лишь одним из элементов окружающей среды, то к нему прилагается (и, следовательно, оно регистрирует) только часть сил, возникающих в процессе деятельности человека.

В итоге этого взаимодействия возникает множество сил и моментов относительно некоторых осей. Эскиз кресла и ориентация осей чувствительности представлены на рис. 1. Центр системы координат кресла, относительно которого регистрируются силы и моменты, расположен под геометрическим центром поверхности сиденья. Результат взаимодействия множества внешних воздействий, прилагаемых к силомоментному креслу, описывается главным вектором внешних сил и моментов, который определяется как вектор равнодействующей и ее мо-



Рис. 1.

Эскиз силомоментного кресла

мент, возникающий в результате нецентрального приложения сил к креслу.

Момент силы $\vec{M}_O(\vec{F})$ относительно точки O (начала координат) определяется как вектор, приложенный в этой точке и равный по модулю произведению силы \vec{F} на плечо силы относительно этой точки [2]. Векторный момент силы направлен перпендикулярно плоскости, в которой лежат сила и моментная точка; его положительное направление определяется таким образом, что с конца вектора момента можно видеть стремление силы вращать тело против движения часовой стрелки. Выражение для вектора момента силы имеет вид

$$\vec{M}_O(\vec{F}) = \vec{r} \times \vec{F},$$

где \vec{r} – радиус-вектор, проведенный из моментной точки O в точку приложения силы или любую другую точку на линии действия силы.

Заметим, что векторный момент силы относительно точки считается вектором, приложенным к этой точке. Векторный момент силы относительно точки не изменится от переноса силы вдоль её линии действия. Он станет равным нулю, если линия действия силы пройдет через моментную точку O.

Связь между проекциями равнодействующей \vec{F} , её момента относительно начала координат \vec{M}_O и проекцией радиус-вектора \vec{r} имеет вид:

$$\begin{aligned} M_{Ox}(\vec{F}) &= yF_z - zF_y; \\ M_{Oy}(\vec{F}) &= zF_x - xF_z; \\ M_{Oz}(\vec{F}) &= xF_y - yF_x; \end{aligned} \quad (*)$$

где x, y, z являются координатами точки на линии действия равнодействующей, а F_x, F_y, F_z – проекциями равнодействующей на оси координат кресла.

Соотношение (*) для проекций момента может быть переписано в матричном виде

$$\begin{bmatrix} M_{Ox}(\vec{F}) \\ M_{Oy}(\vec{F}) \\ M_{Oz}(\vec{F}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -F_z & F_y \\ -F_z & 0 & F_x \\ F_y & -F_x & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

или

$$M = Fc \cdot X.$$

Для очувствления кресла в соответствии с вышеприведенными соображениями был использован многокомпонентный тензодатчик, который позволяет регистрировать все компоненты главного вектора: $M_{Ox}, M_{Oy}, M_{Oz}, F_x, F_y, F_z$. Центр координат кресла расположен в геометрическом центре многокомпонентного тензодатчика.

Одним из устойчивых показателей в биомеханике является координаты точки давления человека на опорную поверхность. Если x, y, z интерпретировать как координаты точки приложения силы к креслу, то для определения координат необходимо решить последнее матричное уравнение. Его решение имеет вид

$$X = Fc^{-1} \cdot M.$$

Можно показать, что определитель матрицы Fc равен нулю, из чего следует, что Fc^{-1} не существует и вычисление координат на основе только лишь проекций равнодействующей и ее момента в общем случае невозможно.

Поскольку ранг матрицы Fc равен 2, то выражение (*) позволяет определить только лишь уравнения линии в пространстве. Вводя дополнительные ограничения на значения

x, y, z в виде уравнений, описывающих пространство вокруг оператора, можно определить точку приложения силы. Для этого необходимо совместно решить уравнение линии действия равнодействующей и уравнения окружающей среды. Модель среды можно получить с помощью известных бесконтактных методов, например, систем видеоанализа. Если модель среды не учитывается, то для анализа двигательной активности испытуемого необходимо использовать главный вектор сил и моментов вместо координат приложения равнодействующей силы.

На основании вышеприведенных соображений можно сделать следующие выводы:

- силомоментное кресло позволяет регистрировать такие важнейшие параметры активности сидящего человека, как развиваемые им силы и моменты;
- необходимо учитывать, что регистрируется только та часть сил и моментов, которая приложена непосредственно к креслу;
- при анализе сигналов главного вектора определение координат приложения равнодействующей невозможно без учета модели окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Титаренко Н.* Видеоанализ движений в оценке терапии детей с резидуальным неврологическим дефицитом. – <http://www.rebyonok.ru/article.php?id=563>.
2. <http://library.bmstu.ru/BooksSearcher.aspx?author=%cd%e8%ea%e8%f2%e8%ed+%cd.%cd>.
3. *Никитин Н.Н.* Курс теоретической механики: Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2003. – 718 с.

УДК 612.76

О.А. Писаренко, Д.В. Кривец

СТАБИЛОАНАЛИЗАТОР ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ ПРОЦЕДУР И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЖИВОТНЫХ

В 2001 г. министерством здравоохранения и социального развития России был сертифицирован первый отечественный компьютерный стабилограф: стабилоанализатор компьютерный с биологической обратной связью «Стабилан-01». Этот комплекс был разработан и серийно выпускается в ЗАО «ОКБ «РИТМ». Семь лет практического использования подтвердили высокую эффективность использования стабилоанализатора компьютерного с биологической обратной связью «Стабилан-01» в таких областях как диагностика и реабилитация двигательных расстройств, оценка динамики лечения, экспертиза трудоспособности, развитие координации и др. [1]. Кроме того, в последнее время появилась новая область применения стабилоанализатора – длительные наблюдения за состоянием мелких животных для оценки воздействия на них новых препаратов.

Разработанный в ЗАО «ОКБ «РИТМ» комплекс является по сути исследовательским, что обуславливает его высокую стоимость. Этот фактор сдерживает широкое применение стабилоанализатора «Стабилан-01» в использовании стабилоанализатора для проведения реабилитационных процедур.

Следует также заметить, что в случае наблюдения за мелкими животными к стабилоанализатору предъявляются повышенные требования по чувствительности. Таким образом, явной становится проблема создания недорогого, удобного в использовании и не требующего специфической квалификации стабилоанализатора. Условно, решение этой задачи можно разделить на три составляющие.

Первая – это конструкция платформы и датчики, обеспечивающие преобразование сил