

УДК 796.012

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСС-ИНЕРЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕГМЕНТОВ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Д. А. Лавшук

(МГУ имени А. А. Кулешова, Могилев, Беларусь)

В уравнения движения, которые используются в имитационном моделировании технических действий спортсменов на компьютере, в качестве параметров входят масс-инерционные характеристики сегментов тела человека. В статье обсуждаются современные подходы, используемые для их определения.

Ключевые слова: биомеханическая система, сегменты тела человека, масс-инерционные характеристики.

Аналитическое определение динамических характеристик движений биомеханических систем невозможно без знания количественных значений так называемых масс-инерционных характеристик (МИХ) сегментов тела человека. Кроме того, эти характеристики входят в уравнения движения, решение которых позволяет осуществить процедуру компьютерного синтеза техники спортивных упражнений.

Как правило, использование аббревиатуры МИХ подразумевает четыре характеристики сегментов тела человека:

- 1) масса сегмента;
- 2) длина сегмента;
- 3) положение центра масс сегмента;
- 4) центральный момент инерции.

Именно эти показатели сегментов тела человека входят в качестве коэффициентов в уравнения, описывающие движение спортсмена.

Все методы определения МИХ сегментов тела человека можно разделить на 2 группы: экспериментальные и расчетные. Классическим экспериментальным методом определения МИХ является методика с использованием тел замороженных трупов, которые рассекались по осям вращения суставов, затем взвешивались и экспериментально определялись координаты центра масс сегментов и их моменты инерции. Первые работы подобного рода относятся еще к 19 веку [1]. В дальнейшем ряд зарубежных исследователей, для верификации этих данных, проводили собственные исследования (Dempster, 1955; Clauser, 1969; Chandler et al., 1975; Plagenhof et al., 1983) [2]. Объемы выборок каждого из исследователей не превышали 10 человек (за исключением Clauser, измерившего 13 тел мужчин). Полученный числовой материал экспериментов позволил вывести среднестатистические коэффициенты, позволяющие по значению массы всего тела определять массы сегментов, а по значениям длин сегментов тела положение ЦМ сегмента.

Критики использования этого подхода справедливо указывают, что точные значения МИХ существенно зависят от типа телосложения, а также обращают внимание на различия свойств живых тканей организма от мертвых. В качестве экспериментальных методов определения МИХ они настаивают на использовании методик прижизненного натурного определения значений МИХ сегментов тела человека. В качестве такого метода может быть использован радиоизотопный метод. А для учета типа телосложения предлагается использовать не среднестатистические коэффициенты, а уравнения множественной регрессии, в которых искомые МИХ сегментов определяются на основе не одного параметра, а, как минимум, двух – например, масса тела и его длина.

Исследования в области биомеханики физических упражнений, проводимые на постсоветском пространстве, для получения данных о МИХ сегментов тела человека всегда опираются на монографию В.М.Зациорского с соавторами (1981) [1], в которой приведены результаты собственных исследований по прижизненному радиоизотопному определению МИХ сегментов тела. Объем выборки был достаточно

велик – 100 мужчин и 15 женщин. Экспериментальные данные были использованы как для определения среднестатистических коэффициентов, так и для вывода коэффициентов уравнений регрессии, которые можно использовать для расчета МИХ любого исполнителя, зная только его массу и длину тела.

В этой же работе заявляется о недопустимости использования среднестатистических коэффициентов, особенно в случае отклонения их от центральных тенденций выборок, на которых они получены. Действительно, анализ зарубежных источников по среднестатистическим значениям МИХ показывает отличия между эмпирическими данными разных исследователей (таблица 1) [2].

Среднестатистические коэффициенты для вычисления массы и координаты центра масс на продольной оси сегмента тела человека

№ п/п	Наименование сегмента	Коэффициент массы сегмента				Коэффициент координаты центра масс от проксимального конца			
		Dempster, 1955	Clauser, 1969	Chandler, 1975	Зацюрский, 1981	Dempster, 1955	Clauser, 1969	Chandler, 1975	Зацюрский, 1981
1	Голова + шея	0,079	0,073	0,0735	0,0694	0,500	0,464	0,663	0,5002
2	Туловище	0,511	0,507	0,5166		0,450	0,438	0,522	
3	Туловище (верхняя ч.)				0,15956				0,5066
4	Туловище (средняя ч.)				0,16327				0,4502
5	Туловище (нижняя ч.)				0,11174				0,3541
6	Плечо	0,027	0,026	0,0326	0,02707	0,436	0,513	0,507	0,4498
7	Предплечье	0,016	0,016	0,0184	0,01625	0,430	0,390	0,417	0,4274
8	Кисть	0,006	0,007	0,0067	0,00614	0,494	0,480	0,515	0,3691
9	Бедро	0,097	0,103	0,0940	0,14165	0,433	0,372	0,398	0,4549
10	Голень	0,045	0,043	0,0401	0,04330	0,433	0,371	0,413	0,4047
11	Стопа	0,014	0,015	0,0145	0,01371	0,429	0,449	0,400	0,4415

Обращают на себя внимание существенные отличия между, например, относительной массой бедра по коэффициентам Зацюрского и зарубежных авторов, различия между зарубежными авторами, например, в положении центра масс плеча.

Использование предложенных в работе Зацюрского уравнений множественной регрессии также не позволяет получить абсолютно корректные результаты. Определение положения центров масс сегментов по представленным в монографии уравнениям приводит к парадоксальным результатам – зачастую положение ЦМ определяется как более

удаленное от проксимального сустава, чем от дистального, чего быть не может.

Таким образом, заявленная в монографии Зациорского большая точность в определении МИХ через уравнения регрессии, где в качестве исходных данных используется масса и длина тела, не подтверждается результатами вычислительных экспериментов. Наиболее разумной альтернативой этим уравнениям до сих пор представляется использование среднестатистических коэффициентов, полученных по данным прижизненной радиоизотопной диагностики испытуемых.

Один из вопросов, на который мы планируем получить ответ в ходе дальнейших исследований, заключается в оценке влияния погрешности определения масс-инерционных характеристик на точность компьютерного решения уравнений движения в вычислительных экспериментах. Анализ литературных источников указывает на большой разброс мнений о степени такого влияния. Некоторые исследователи доказывают, что влияние вариации значений МИХ на конечный результат движения не превышает долей процента, другие доказывают обратное – приводят данные, что использование различных исходных данных МИХ сегментов может привести к погрешностям в определении траектории перемещений сегментов до 12 % [3]. В монографии [1] приводится отсылка на работу Най (1977), в которой приведены результаты вычислительных экспериментов по определению кинетического момента у прыгунов в длину для 30 различных вариантов МИХ. Заявляется, что различия в результатах составляли 30-100%.

Следовательно, целесообразно проведение серий вычислительных экспериментов для оценки степени влияния вариабельности МИХ на результаты интегрирования уравнений движения биомеханических систем. Полученные числовые данные помогут более взвешенно подойти к выбору стратегии использования МИХ в моделировании движений на компьютере.

Список использованной литературы

1. Зациорский, В. М. Биомеханика двигательного аппарата человека / В. М. Зациорский, А. С. Аруин, В. Н. Селуянов. – М.: ФиС, 1981. – 143 с.
2. Hamill, J. Biomechanical basis of human movement / J. Hamill, K. Knutzen, T. Derrick. – Philadelphia : Wolters Kluwer Health, 2015. – 484 p.
3. Biomechanics: Principles, Trends and Applications / Jerrod H. Levy (Editor). – New York : Nova Science Pub Inc, 2010. – 402 p.