

СРАВНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТРЕХЗВЕННОЙ МОДЕЛИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАСЧЕТАХ ПО КЛАССИЧЕСКОЙ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И С ПОМОЩЬЮ ФОРМАЛИЗМА ТЕОРИИ ИГР



ПОПОВ
Григорий Иванович

Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (ГЦОЛИФК), Москва
Заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин, профессор, доктор педагогических наук

POPOV Grigory

Russian State University of Physical

Education, Sport, Youth and Tourism (SCOLIPE), Moscow
Head of the Department of Natural Sciences, Professor, Doctor of Pedagogical Sciences

ЗАГРЕВСКИЙ
Валерий Иннокентьевич

Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова, г. Могилев, Беларусь
профессор кафедры теории и методики физического воспитания, доктор педагогических наук

ZAGREVSKY Valery

Mogilev State University named after A. A. Kuleshov, Mogilev, Belarus

Professor of the Department of Theory and Methodology of Physical Education.

Doctor of Pedagogical Sciences

СЕРГОЯН
Айк Самвелович

Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (ГЦОЛИФК), Москва
Аспирант кафедры естественнонаучных дисциплин

SERGOYAN Aik

Russian state University of physical culture, sport, youth and tourism (gtsolifk), Moscow

Postgraduate Student of the Department of Natural Sciences

***Ключевые слова:** моделирование, биомеханика, кинетическая энергия, теория игр, вектор Шепли.*

Аннотация. В статье показано как оптимизировать движение в контексте кинетической энергии в ударе в бадминтоне, используя вектор Шепли. Были рассмотрены 2 удара в бадминтоне. В первом случае момент достижения максимума фиксировался. Затем движение оптимизировалось посредством вектора Шепли, и рассчитывалась энергия в этом случае. Результат сравнивался с расчетами по классической модели. Результат по модели с Вектором Шепли дал хорошее совпадение с классической моделью и экспериментальными данными. Показано, что формализм теории игр позволяет решать оптимизационные проблемы в биомеханике.

COMPARISON OF SPREADING KINETIC ENERGY IN THREE-TIER MODEL OF THE HUMAN BODY IN THE CALCULATIONS USING THE FORMALISM OF THE GAME THEORY BY THE CLASSICAL BIOMECHANICAL MODEL

***Keywords:** modeling, biomechanics, kinetic energy, gaim theory, Shaply value.*

Abstract. In the article is shown how to optimize the movement, in the context of kinetic energy, such as kick in badminton using Shapley value. We had 2 attempts of kick in badminton, that did sportsmen. In first attempt the moment was fixed, when kinetic energy in distal segment reached a maximum. We optimized the movement with Shapley value, and calculate kinetic energy, in optimized movement, for each segment. Than the results obtained by Shapley value were compared with data of classical mathematic model from second «better» attempt. The result obtained by Shapley value is very closed to the experimental data, which proves the hypothesis that Shapley value can be used for solving similar optimization problems in biomechanics.

Введение. Моделирование двигательных действий человека в спорте является эффективным и перспективным методом выявления закономерностей совершенствования технического мастерства спортсменов [1, 4]. В этом подходе тело человека задается в виде системы твердых тел, что позволяет применить аппарат классической механики для описания его движения. Уравнения движения тела и звеньев тела человека обычно выводятся с использованием метода Лагранжа, Эйлера-Ньютона или Гамильтона. Это то, что можно назвать классическим биомеханическим моделированием.

В последние годы развивается принципиально новый подход в области теории и практики построения движений: в дополнение к уже известным моделируемым формам движения необходимо разрабатывать технику упражнений с заранее планируемыми качествами и требуемыми свойствами [2]. В этом случае в дополнение к констатирующей функции научное биомеханическое исследование будет выполнять и функцию прогноза при моделировании техники выполнения

упражнений в ряде видов спорта, что даст при реализации результатов в последующем тренировочном процессе опережающее преимущество в конкурентной спортивной борьбе.

Цель исследования – проверить эффективность нового подхода к моделированию интегративных характеристик движения (прежде всего кинетической энергии) на основе формализма теории игр в сравнении с аналогичными расчетами по классической модели многозвенной системы тела человека.

Методика. Исходные экспериментальные данные по координатам движения звеньев тела спортсмена были получены посредством многокамерной съемки скоростными видеокамерами «Кволисис». Изучался удар ракеткой по волану в бадминтоне при подаче с места. На суставных точках тела испытуемого располагались маркеры. Съемка проводилась с частотой 100 гц. При автоматизированной обработке изображения в компьютере маркеры захватывались поисковой системой, которая определяла в заданной системе координат их конкретные пространственные

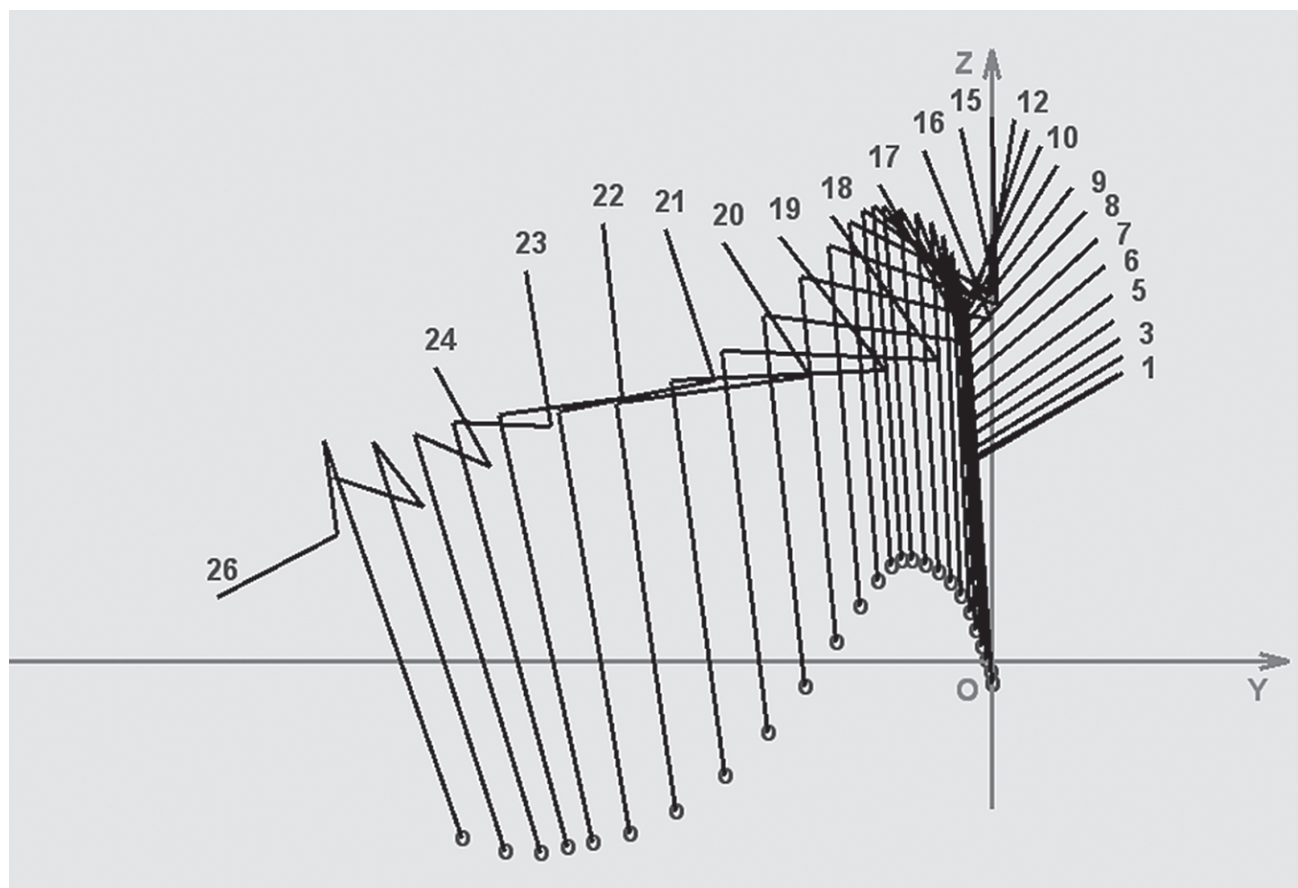


Рис. 1. Кинетограмма удара в бадминтоне в проекции на плоскость YZ , построенная по заданным координатам суставов у выбранных звеньев

координаты. Именно так для каждого суставного сочленения, интересующего нас, формировался вектор первичных данных.

Классическое математическое моделирование проводилось по модели, разработанной В.И. Загrevским, расчеты по формализму теории игр с использованием вектора Шепли проводились А.С. Сергояном.

Результаты. По классической биомеханической модели расчет кинетической энергии проводился по формуле:

$$E_{кин} = 1/2 \times (m_1 V_{x1}^2 + m_1 V_{y1}^2 + m_1 V_{z1}^2 + m_2 V_{x2}^2 + m_2 V_{y2}^2 + m_2 V_{z2}^2 + m_3 V_{x3}^2 + m_3 V_{y3}^2 + m_3 V_{z3}^2 + J_{c1x} \phi_1^2 \sin^2 Q_1 + J_{c1z} \phi_1^2 \cos^2 Q_1 + J_{c1y} \phi_1^2 + J_{c2x} \phi_2^2 \sin^2 Q_2 + J_{c2z} \phi_2^2 \cos^2 Q_2 + J_{c2y} \phi_2^2 + J_{c3x} \phi_3^2 \sin^2 Q_3 + J_{c3z} \phi_3^2 \cos^2 Q_3 + J_{c3y} \phi_3^2)$$

Как следует из формулы, рассчитывались поступательная составляющая кинетической энергии движения звеньев и вращательная составляющая вокруг выбранной ортонормированной пространственной декартовой системы координат. В этой системе для примера приведена кинетодиаграмма движения модели в проекции на плоскость YZ (рис. 1).

Рассчитанные значения кинетической энергии движения звеньев в проекции на плоскость YZ приведены в таблице 1.

По формализму теории игр рассчитывался для кинетической энергии вектор Шепли по формуле:

$$\Phi(v)_i = \sum_{i \in K} \frac{(k-1)! \times (n-k)!}{n!} \times (v(K) - v(K \setminus i)),$$

где n – количество игроков, k – количество участников коалиции K . Ранее [3] мы уже разъясняли, что движение звеньев, сопряженных в суставе, является альтернативным (противофазным), поэтому это подпадает под формализм теории игр, который посредством вектора Шепли показывает альтернативность действия игроков в игре. Только для совмещения биомеханического описания движения и расчета по вектору Шепли необходимо было выбрать количественный критерий, с помощью которого можно было совместить выбранные подходы. В качестве такого критерия оказался эффективным выбор кинетической энергии движения звеньев. В теории игр этому соответствовал выигрыш одного игрока и проигрыш другого в игре двух игроков.

Результаты расчетов приведены в таблицах 2 и 3.

Отличие значения кинетической энергии в движении плеча вполне ожидаемо, поскольку по классической модели рассчитывалась энергия по скорости, взятой в проекции на плоскость YZ. Плечо в рассматриваемом примере движется по пространственной траектории (что видно на рис.1), выходящей за плоскость

Таблица 1

Кинетическая энергия движения звеньев классической модели

Кадр	X(k,1)	Y(k,1)	Z(k,1)	T(k,1)	X(k,2)	Y(k,2)	Z(k,2)	T(k,2)	X(k,3)	Y(k,3)	Z(k,3)	T(k,3)	Xs(k,0)	Ys(k,0)	Zs(k,0)	Ts(k,0)
k=00	0,00	0,14	0,02	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,02	0,16
k=01	0,01	0,21	0,02	0,24	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,23	0,02	0,26
k=02	0,02	0,30	0,04	0,37	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,32	0,04	0,39
k=03	0,05	0,41	0,09	0,54	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,05	0,43	0,09	0,57
k=04	0,07	0,50	0,18	0,75	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,08	0,52	0,19	0,79
k=05	0,11	0,52	0,36	0,99	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,12	0,54	0,38	1,03
k=06	0,16	0,46	0,59	1,21	0,00	0,01	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,47	0,61	1,25
k=07	0,19	0,41	0,86	1,45	0,00	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,41	0,89	1,50
k=08	0,19	0,34	1,12	1,65	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,34	1,17	1,71
k=09	0,17	0,22	1,22	1,61	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,17	0,23	1,27	1,67
k=10	0,13	0,07	1,01	1,21	0,01	0,01	0,04	0,05	0,01	0,02	0,00	0,03	0,14	0,10	1,05	1,29
k=11	0,14	0,01	0,53	0,67	0,01	0,05	0,01	0,07	0,03	0,06	0,01	0,09	0,18	0,11	0,55	0,83
k=12	0,19	0,23	0,07	0,49	0,03	0,12	0,00	0,15	0,06	0,11	0,04	0,21	0,28	0,46	0,11	0,85
k=13	0,36	0,91	0,06	1,34	0,07	0,23	0,04	0,34	0,13	0,19	0,11	0,43	0,56	1,33	0,21	2,10
k=14	0,79	2,03	0,70	3,52	0,16	0,35	0,14	0,64	0,26	0,26	0,24	0,76	1,21	2,63	1,08	4,92
k=15	1,60	3,13	2,44	7,17	0,32	0,41	0,34	1,07	0,48	0,30	0,44	1,22	2,41	3,84	3,22	9,47
k=16	2,86	3,70	4,82	11,39	0,60	0,40	0,61	1,61	0,85	0,29	0,66	1,81	4,31	4,39	6,10	14,80
k=17	4,54	3,46	7,18	15,18	1,02	0,30	0,91	2,23	1,41	0,22	0,92	2,55	6,96	3,99	9,01	19,96
k=18	6,62	2,49	9,15	18,26	1,59	0,13	1,17	2,89	2,19	0,10	1,20	3,49	10,39	2,72	11,53	24,64
k=19	8,75	1,12	9,45	19,32	2,19	0,00	1,23	3,42	3,14	0,00	1,36	4,50	14,08	1,13	12,04	27,25
k=20	9,31	0,09	7,39	16,78	2,43	0,12	0,87	3,42	3,98	0,16	1,11	5,25	15,72	0,36	9,37	25,45
k=21	6,95	0,33	3,89	11,17	1,75	0,50	0,29	2,54	4,24	0,56	0,38	5,18	12,94	1,38	4,55	18,88
k=22	3,92	0,85	0,97	5,74	0,83	0,60	0,01	1,44	3,69	0,88	0,01	4,59	8,45	2,34	0,99	11,78
k=23	2,84	0,65	0,05	3,54	0,40	0,41	0,06	0,88	2,24	1,07	0,77	4,08	5,49	2,12	0,89	8,50
k=24	3,19	0,75	0,05	3,99	0,24	0,33	0,22	0,80	0,82	1,25	1,92	4,00	4,26	2,33	2,19	8,79
k=25	3,37	1,34	0,50	5,21	0,17	0,47	0,40	1,03	0,12	1,69	2,92	4,74	3,66	3,50	3,81	10,97
k=26	3,11	2,30	1,55	6,96	0,12	0,77	0,58	1,47	0,04	2,42	4,02	6,48	3,27	5,49	6,15	14,91

Кинетическая энергия биосистемы $Xs(k,0), Ys(k,0), Zs(k,0), Ts(k,0)$ и звеньев $X(k,j), Y(k,j), Z(k,j), T(k,j)$, где $j=1,2,3$ – номер звена, k – номер видеокadra, в проекции на ось Ox – $X(k,1), X(k,2), X(k,3), Xs(k,0)$, ось Oy – $Y(k,1), Y(k,2), Y(k,3), Ys(k,0)$, ось Oz – $Z(k,1), Z(k,2), Z(k,3), Zs(k,0)$ декартовой системы координат и результирующая $T(k,1), T(k,2), T(k,3)$ первого, второго, третьего звена и биосистемы – $Ts(k,0)$ в поступательном движении

Таблица 2

Значения кинетической энергии звеньев по классической модели в момент максимальной скорости движения ракетки перед вылетом волана (26-й кадр)

Туловище	Плечо	Предплечье
6.90 Дж	1.47 Дж	6.48 Дж

Таблица 2

Значения кинетической энергии звеньев, рассчитанные для того же случая с помощью вектора Шепли

Туловище	Плечо	Предплечье
6.65 Дж	2.35 Дж	6.36 Дж

YZ. Следовательно, учитывается только часть кинетической энергии. А движения туловища и предплечья близки к плоскому движению. По вектору Шепли расчет идет по полной энергии. Значения кинетической энергии для туловища и предплечья отличаются в пределах 1,8–3,6%. Что является очень хорошим совпадением с результатами классической биомеханической модели, взятой нами за эталон.

Выводы

1. Расчеты кинетической энергии движения звеньев в многозвенной системе тела человека можно проводить по формализму теории игр.
2. Расчеты по вектору Шепли являются более оперативными, чем по классической модели, что позволит усилить биомеханический раздел контроля спортивной подготовленности спортсменов в рамках системы комплексного контроля.
3. Универсализм формализма теории игр может позволить решать прямую задачу механики для оптимизации и планирования

энергообеспечения двигательных действий с ориентацией на повышение спортивной результативности.

Литература

1. Кривецкий И. Ю. Моделирование успешности спортивных движений в прыжках в высоту с разбега / И. Ю. Кривецкий, Г. И. Попов, Н. С. Безруков // Информатика и системы управления. – 2011. – №2 (28). – С. 126-132
2. Попов Г. И. Искусственная управляющая среда для формирования и совершенствования двигательных действий в спорте / Г. И. Попов // Наука о спорте: Энциклопедия систем жизнедеятельности. – М.: Издательство ЮНЕСКО; Изд. дом «Магистр-Пресс»; Издательский дом E.O.L.S.S., 2011. – С. 304-319
3. Сергоян А. С. Оптимизация перераспределения энергии в биомеханическом многозвеннике с помощью вектора Шепли / А. С. Сергоян, Г. И. Попов // Теория и практика прикладных и экстремальных видов спорта. – 2013. – № 2(27). – С. 22–24
4. Perl J. A neural network approach to movement pattern analysis // Human Movement Science. 2004. – Vol. – 23. – P. 605-620.

