

Биомеханичен анализ, сили в сумото

Общи критерии за биомеханична целесъобразност на движенията. Двигателното действие като система. Физическото упражнение като управляема система. Биомеханични методи за количествена оценка и анализ на спортно-техническото майсторство:

1. Физическото упражнение като управляема система-двигателните действия на човека са сложен процес. Човек може да извърши движения ,с които се стреми да постигне решаване на определена задача, т.е. да постигне някаква цел. Тези движения зависят от волята на човека и подлежат на регулация и управление. Регулацията на движенията е невъзможна без непрекъснато получаване на информация за хода на движението. Поемането на нужната информация се осъществява от сложни процеси на синтезиране и селектиране на сигналите. След необходимата преработка информацията се предава на управлявания орган ,след което под формата на сигнали се отправя към всички органи и системи, които са включени в двигателното действие на спортиста . В същото време информацията се отправя и към съхранение в запаметяващото устройство(паметта). Без запазване на информацията е невъзможно усъвършенстване на системата.

Движението може да се разглежда като процес на управление, където ЦНС е управляващото звено, а частите на тялото управляеми звена. Най-основните принципи на които е изградена тази схема е наличието на кръгове на управление. Съществува зависимост не само на управляемото звено от управляващото (права връзка) и обратно (обратна връзка). Външният кръг включва правата връзка и външната дъга на обратната връзка по зрителния, слуховия, обонятелния и тактилния рецептор..

Характерно за физическото упражнение, е че то се изпълнява винаги в променливи условия, както от страна на околната среда, така и от вътрешната среда.

2. Двигателното действие като система на движението- под понятието с-ма се разбира дадено цяло, съставено от взаимно свързващи и взаимодействащи си части. Отделните елементи на с-мата са свързани в

определен порядък. Човешкият организъм е съставен от множество с-ми. В зависимост от своя характер с-мите биват:

- сумарни (частите на с-мите са слабо свързани) ;
- цялостни (частите са тясно свързани);
- статически (с-мата е трудно изменяема);
- динамическа (изменя се непрекъснато);
- прости (при едни и същи условия с-мата реагира по един и същи начин)
- сложни

В с-мата на движение се различават елементи от които тя е съставена.

Елементите могат да бъдат пространствени и времеви.

При биомеханичните изследвания, основната задача е да се установи ефективността на дадено движение, за да разкрият общите и специфични закономерности по които то протича, да се установи съответствието на движението с поставена двигателна задача. Решаването на поставените задачи изисква подбиране на съответната методика. **Всички изследвания минават през няколко етапа:**

- *теоретична постановка на въпроса;
- *регистриране на характеристиките на движението-цел, задачи и правилно подбрана методика;
- *обработка на получените данни;
- *биомеханичен анализ-установяват се структурите на отделните движения и на цялостния двигателен акт.

Методите, които се използват са:

1. Кинематографични методи-регистрират пространствено кинематичните (пространствени ,времеви, пространствено-времеви) характеристики на движението. Най-разпространени са анализите с помоща на кинокамера и видео метрия. Предимството тук, е че тези методи не се намесват в интимното протичане на движенията. Това дава възможност да се използват и по всяко време на отговорни състезания. Точността на анализа зависи от точността на заснемането на пространствените характеристики.
2. Динамографични методи-свързани са с директно записване на силите, поради което във всички случаи експертът се намесва в явлението, което се изследва. Най-често се използва динамографична платформа.
3. Комбинирани методи-те са особено ценни. Обработка на данните от кинематографичния метод предполага решаването на така наречената права основна задача на биомеханиката и се свежда до двукратно

диференциране на закона на движението. Процедирайки по този начин може да се получи само зависимостта на силата от времето F.T

При динамографичните методи обикновено се решава „обратната задача“ биомеханиката като се търси закона на движение. Един от основните недостатъци на кинематографията, е че може да се допуснат значими субективни грешки.

Фази и процеси при изграждането на двигателните навици, адаптационни, морфологични и функционални промени в организма.

1ви етап на първоначално изучаване-основна цел на етапа е да се изучи същността на техниката на действието и да се създаде умение за нейното изпълнение ,дори и в груба форма. Път на изучаване:

- занимаващите се въвеждат с думи – същност и значение на похвата, приложение в играта, основни моменти и изисквания при изпълнението;
- показва се цялостно самото упражнение, когато то е по-сложно се съпровожда с думи (обяснение);
- занимаващите се разделят на групи (по двойки);
- преподавателят дава методически указания и поправя грешките;

*Основни изисквания при демонстрацията:

- демонстратора трябва да е на удобно място, за да може да бъде обхванат зрително от всички ;
- движенията да се изпълняват правилно;
- при показването да се набляга на изискванията;
- да има момент на емоционалност

*Основна задача е отстраняването на грубите грешки чрез:

- повторно показване и обяснение;
- облекчени условия на изпълнението;
- изпълнение на специални подготвителни упражнения

Важно е да се създадат навици в занимаващите се сами да анализират действията си.

2ри етап на задълбочено изучаване-осъществява се детайлизирано усвояване на техниката. Уточняване на техниката на действие по отношение на пространствените характеристики. Усъвършенстване ритъма на действие. Вариативно изпълнение на действията.

3ти етап на усъвършенстване-Задачи: да се разшири вариативността на действие с цел изпълнението му в различни условия;да се извърши индивидуализация на техниката; преустройство на техниката.

Вариативността се постига чрез многократно повторение в различни

условия на действието чрез: усложняване на външните условия; нарастване на физическите усилия.

Преустройството на навика е значително по-трудна задача от формирането на навик, защото първо трябва да се разруши формирания стереотип и да се изгради нов. В етапа на първоначалното разучаване сигнализацията от зрителния, слуховия и двигателния анализатор е необичайно силна тъй като е нова. Предизвикания възбуден процес в съответните корови центрове се разпространява бързо, като обхваща широки зони от кората. това предизвиква нервни импулси не само към необходимите за извършване на дадено движение, но и към други мускули. В резултат се стига до несъгласуваност, тремавост и скованост на движенията, които са неточни, груби и неадекватни. работата на вътрешните органи е некоординирана и не съответства на съответните условия.

Този етап съвпада с първата половина на подготвителния период. трае при някои спортисти да 3-4 месеца. При него се използват не специфични методи и средства.

Фаза на специфична адаптация-в нея се използват специфични методи и средства и се повишава специфичната работоспособност на човека. Изграждат се водещи за съответния спорт качества и навици. В края на тази фаза спортиста трябва да бъде в спортна форма. Тази фаза съвпада с втората половина на подготвителния период и има продължителност 1-1,5 месеца.

Фаза на пълна адаптация-при нея се достига до максимална мощност и същевременно икономичност в действията на двигателния апарат. Това е следствие от: изразена хипертрофия на бързите и бавните мускулни влакна. Повишава се енергетичния капацитет и се достига до икономичност на ССС в резултат на умерена хипертрофия на дихателната мускулатура. Повишава се респираторния капацитет на белите дробове. Наблюдават се структурни и функционални промени в миокарда и до увеличаване на броя на капилярите, тяхната плътност и пропускливост. Тази фаза съвпада със състезателния период, където спортиста е психически стабилен.

Фаза на реадаптация-при нея спортиста временно загубва спортна форма. Тя съвпада с преходния период като продължава 15-20 дни. Тази фаза в съвременния тренировъчен процес се повтаря 3-4 пъти в годината

Спецификата на един или друг вид единоборство съставляват характерът и съдържанието на технико- тактическите действия и непосредствените условия, в които те се изпълняват. Характерна особеност на състезателните единоборства в сумо е бързината на схватката. Обикновено тя трае от 5 до 15 секунди, като решаващи се явяват първите секунди на схватката. На второ място е налице ограниченост на площадката, като застъпването на нейната граница довежда до поражение. На трето място са налице непосредствени и значителни силови контакти на главата и тялото при стълкновението между двамата състезатели, които са несъпоставими по мощност с нито едно от въздействията в другите видове борба.

В съответствие с това възникват много противоречия свързани с това как всъщност е необходимо да се готвят сумистите? В най-общ план трениорите в това отношение готвят своите възпитаници – сумисти интуитивно, т.е. използват своя опит, натрупан от технико-тактическите действия от своята минала практика. Отчитайки обаче специфичните правила и особености на състезателната дейност при сумистите, тази практика не винаги е подходяща за сумо спорта.

Отсъствието на специфични навици за преместване на състезателите в дохаито и тяхното неразбиране особеностите за изпълнение на технико-тактическите действия, често довеждат до поражение на сумистите на най-отговорните състезания.

Борбата при сумо, въпреки нейната външна простота, има ред специфични особености, без отчитането на които е невъзможно успешното и стабилно представяне на състезания.

Биомеханичен анализ на Шико, Начална поза за атака и Основни похвати

Методика за видео регистрация и анализ

За регистрация на двигателните действия беше използвана стандартна видеокамера с честота на заснемане 25 кадъра в секунда, което определя времеви интервал между кадрите от 0.04 s. В случая използването на подобна камера дава напълно задоволителни резултати, имайки предвид естествената честота на изследваните човешки движения.

Оптичната ос на камерата беше перпендикулярна на равнината на развитие на движенията.

Записаният видеоматериал се дигитализира и се редактира до един пълен цикъл на движение. Получените видеофайлове бяха обработени с видеокомпютърна система за анализ [1], която позволява да се регистрират вертикалните и хоризонтални координати в пространството на избрани точки от тялото на опитните лица при изпълнение на предвидените упражнения. Впоследствие координатите се обработват със съответния софтуерен модул на системата, като с негова помощ се получават кинематичните характеристики на изследваните точки като функция на времето. За изглаждане на дигитализираните данни предварително беше използван непълно демпфиран нискочестотен цифров филтър с честота на среза 10 Hz. В случаите на временно скриване на регистрираните точки се използва модифицирана кубична сплайн интерполация за възстановяване на пропуснати данни. За всеки цикъл се получава Excel файл, който позволява гъвкаво интерпретиране и графично представяне на получените резултати.

В експериментите взеха участие две опитни лица, специализиращи сумо, със следните данни: Х.Х. с ръст 185 см и тегло 170 кг; И.Ш. с ръст 180 см и тегло 131 кг.

За регистрация на кинематичните характеристики на опитните лица беше използвана видеокомпютърната система за анализ.

Първата част на изследването включва изучаване на биомеханичните особености на класическо упражнение в сумо – последователно повдигане на долния крайник максимално високо странично нагоре (шико).

Доколкото това упражнение има повече представителни, а не състезателни функции, то основната задача се състоеше в оценка на пространствената структура на действието, свързани с начина на изпълнение, статичната и динамична устойчивост на позата, плавност и ритмичност на движенията, описание на основните елементи при изпълнение на движението.

Опитните лица изпълниха по три упражнения, като за анализ бе избрано едно от тях по експертна оценка.

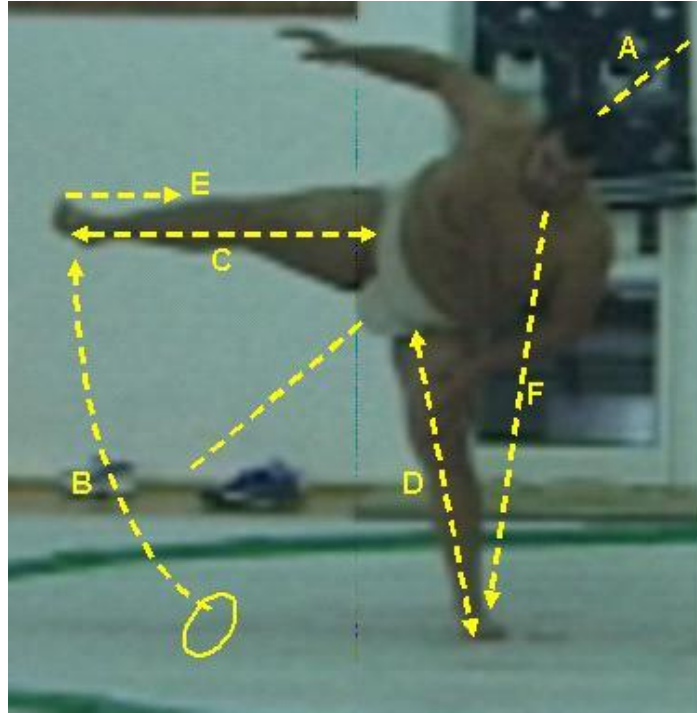
За всяко изследвано лице бяха регистрирани пространствените координати на 19 точки от тялото: при долен крайник – пръсти, пета, глезенна, колянна и тазобедрена стави; при горен крайник – връх пръсти, киткена, лакътна и раменна стави; ЧЦТ на главата. Впоследствие бяха определени траекторията на ОЦТ на тялото по време на упражнението и неговото местоположение при позата с най-високо вдигнат махов крак. Изчислени бяха също така скоростите и ускоренията на регистрираните точки, както и времевите интервали на фазите на движение нагоре, надолу и задържането на междинната поза.

Втората част на изследването включва биомеханичен анализ на три начина на провеждане на борбата в сумо – чрез захват за колана, чрез обхват на туловището и чрез атакуващ натиск с главата върху туловището на противника.

Беше използван 14 сегментен модел на човешкото тяло, като за всеки участник в единоборството бяха регистрирани пространствените координати на следните точки от тялото: при долен крайник – глезенна, колянна и тазобедрена стави; при горен крайник – киткена, лакътна и раменна стави; ЧЦТ на главата. Впоследствие беше определена траекторията на ОЦТ на състезателите по време на борбата. Изчислени бяха също така скоростите и ускоренията на регистрираните точки, времевата структура на борбата и кинетичната енергия на атакуващия състезател.

Структура и кинематичен анализ на упражнението “шико”

На фиг. 1 са илюстрирани качествени характеристики, които по експертна оценка са най-значимите елементи при изпълнението на упражнението:



Фиг. 1. Основни качествени характеристики на упражнението “шико”

A - гърбът е изправен;

B - маховият крак се издига нагоре, без да се приближава до опорния крак;

C - повдигнатият крак е изправен и под напрежение;

D - опорният крак е изправен и под напрежение;

E - ходилото на маховия крак е сгънато в глезенната става и пръстите му сочат към туловището;

F - погледът е насочен към големия пръст на опорния крак.

Движенията на това упражнение могат да се опишат като последователно повдигане на един от долните крайници максимално високо странично нагоре, като състезателят трябва да реализира изискванията на основните елементи при изпълнението на упражнението.

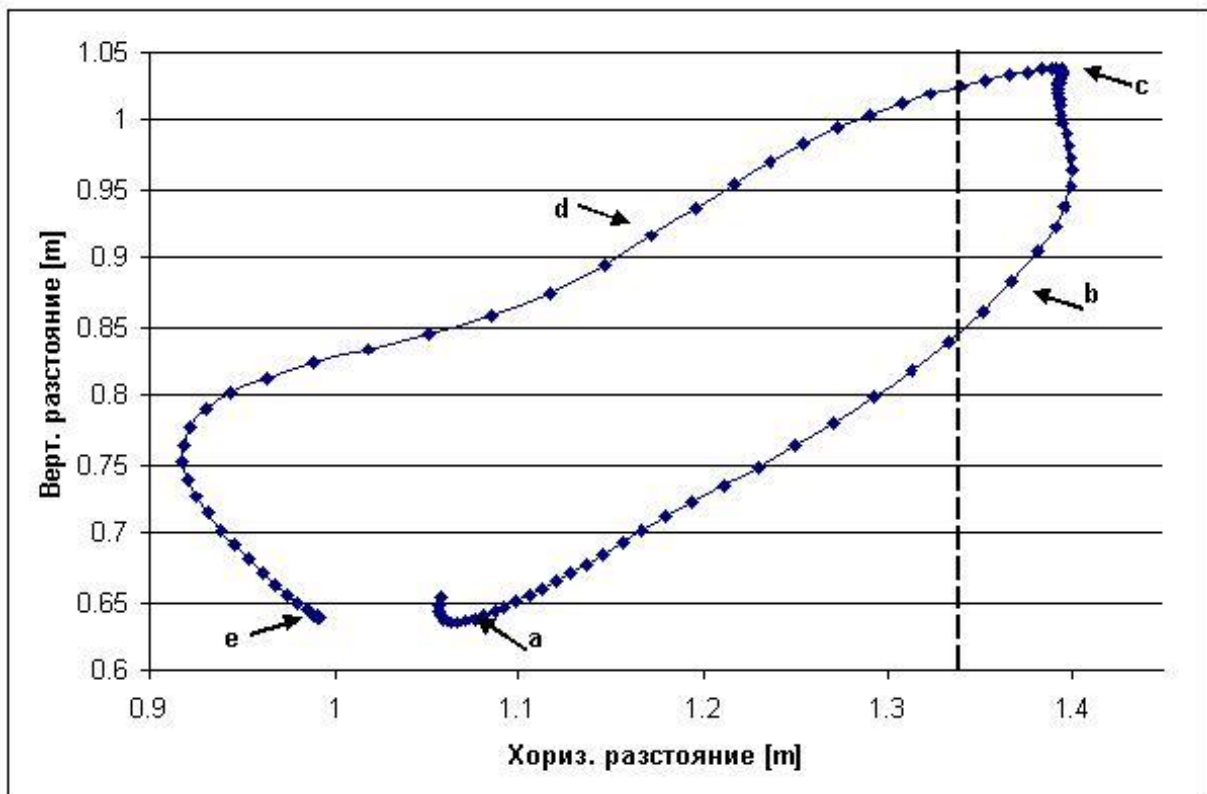
За целите на анализа упражнението е разделено на пет обособени фази (фиг. 2):



Фиг. 2. Характерни кадри от фазовата структура на упражнението на изследвания Х.Х.

- 1) първа фаза на движение нагоре – от основна поза до отделяне на маховия крак от опората (**a – b**);
- 2) втора фаза на движение нагоре – от отделянето на маховия крак от опората до достигане на максимална височина от неговото ходило (**b – c**);
- 3) задържане – интервалът от време, докато ходилото на маховия крак е на максимална височина (**c**);
- 4) първа фаза на движение надолу – от края на фаза 3 до допиране на маховия крак до опората (**c – d**);
- 5) втора фаза на движение надолу – от допира на маховия крак до опората до заемане на основната поза (**d – e**).

На фиг. 3 е показано местоположението на ОЦТ на опитното лице Х.Х. по време на изпълнение на упражнението, чиито характерни кадри са илюстрирани на фиг. 2.



Фиг. 3. Траектория на ОЦТ на опитното лице Х.Х.

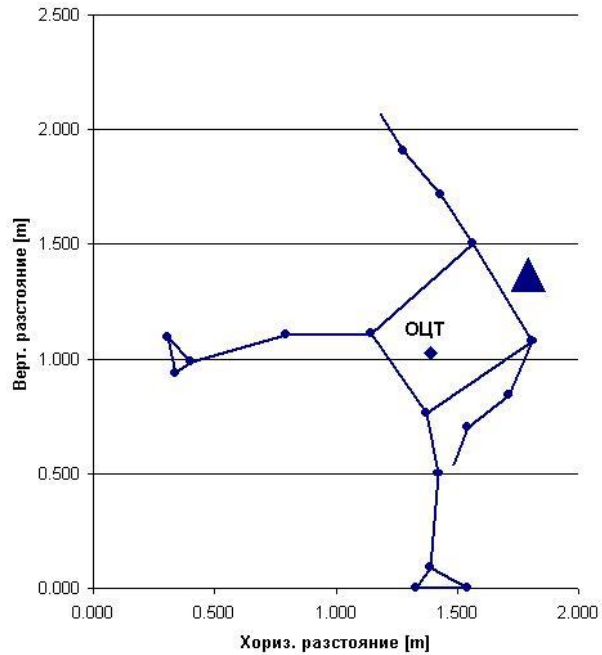
Всеки кадър съответства на моментите от време, характеризиращи границите на отделните фази на движение. За осигуряване на по-ясна взаимовръзка, тези характерни кадри са отбелязани със съответните им имена върху траекторията на ОЦТ. Също така на фиг. 3 чрез вертикална пунктирана линия е обозначена границата, определяща дали ОЦТ се намира в рамките на опорната площ по време на безопорните фази на движение. По такъв начин в границите на площта, образувана от опорното ходило се намират местоположенията на ОЦТ, намиращи се на дясно от пунктираната линия.

През първата фаза на движението, чието начало е в точка **a** на графиката, започва разгъване на долните крайници по такъв начин, че ОЦТ да се движи нагоре и по посока на бъдещия опорен крак. Стремешът е в края на фазата бъдещия безопорен крак да бъде максимално разгънат и по възможност ОЦТ да се намира над опорната зона на другия крак. Реализирането на това условие би осигурило сигурност и значителна устойчивост на движенията през следващите фази. В случая това е

осигурено, тъй като в края на фазата, точка **b** от траекторията на графиката на ОЦТ се намира в дясно от пунктираната линия.

Втората фаза на движението започва от отделянето на ходилото на маховия крак от опората (точка **b**) до издигането му на максимална височина. При това основен елемент тук е, че маховият крак трябва да се издига нагоре, без да се приближава до опорния крак. За осигуряване на плавно отвеждане на маховия крак спрямо тазобедрената става, основните мускулни групи, отговорни за движението, работят преобладаващо в преодоляващ режим, като извършват положителна (концентрична) работа. Тяжното натоварване непрекъснато се увеличава с движението нагоре, тъй като събарящият въртящ момент, създаван от повдигания се махов крак, също нараства. Равновесната устойчивост може да се осигури от една страна с повишено напрежение на мускулните групи, а също така и с премерено преместване на ОЦТ в границите на опорната площ в обратна посока, с цел създаване на противодействащ въртящ момент. Това движение обаче трябва да бъде ограничено и да не създава впечатление за хоризонтално клатене. Получените резултати за траекторията на ОЦТ на фиг. 3 показват, че опитното лице премества плавно и само в рамките на 6 см в хоризонтална посока своето ОЦТ по време на тази фаза (от точка **b** до точка **c**), което е отличен атестат за степента на усвоеност на упражнението и физическата му подготовка.

Третата фаза на упражнението се състои в задържане на ходилото на разгънатия и отведен махов крак на постигнатата височина в края на предходната фаза. Качеството на фазата на задържане се определя от изпълнението на основните елементи на позата на тялото, съгласно фиг. 1. Реализираната поза на опитното лице е дадена на фиг. 2(с), а на фиг. 4 е показана в координатна система стик-фигура на същата поза, като е обозначено и местоположението на ОЦТ на тялото.



Фиг. 4. Стик-фигура на опитното лице Х.Х. за трета фаза от упражнението

Прави впечатление от механична гледна точка, че състезателят е успял освен да изпълни изискванията за позата и да осигури максимално добри параметри за нейната равновесна устойчивост. Основно това се дължи на факта, че проекцията на ОЦТ върху ос X преминава през координатата на глезенната става на опорния крак (с разлика от 2мм, което е в границите на грешката от регистриращата система). По този начин събарящите въртящи моменти се уравновесяват максимално и динамичната равновесна устойчивост на позата е значителна.

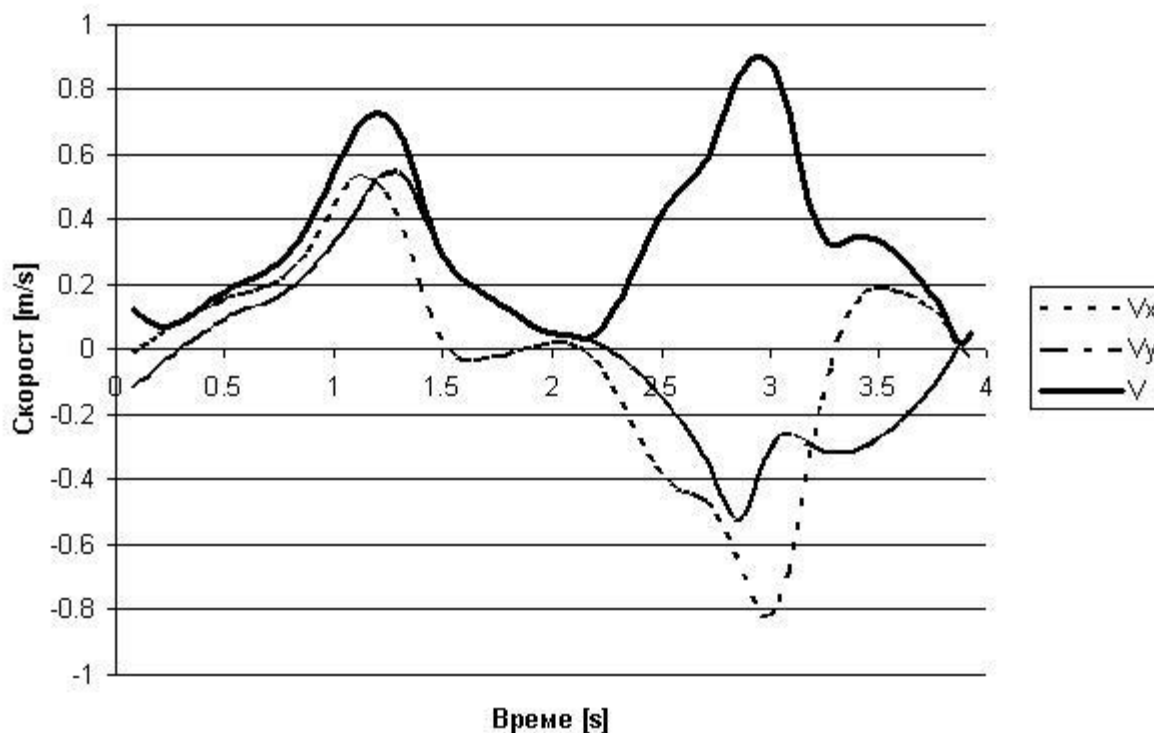
През четвъртата фаза маховия крак се движи надолу и продължава до допира на пръстите на ходилото с опората. Отговорните за движението мускулни групи работят в отстъпващ режим, като извършват негативна (ексцентрична) работа. Това се дължи на противодействието на гравитацията за осигуряване на плавно движение надолу със значително по-малко ускорение от земното. В резултат на усложнената двигателна задача, както може да се забележи на фиг. 3, траекторията на движение на ОЦТ надолу не съвпада с тази при движение нагоре (от точка **c** до точка **d**). За време от около 0.3 s проекцията на ОЦТ излиза от опорната площ, което води до допълнително натоварване на мускулните групи. Като резултат в

края на тази фаза (точка **d**), местоположението на ОЦТ е отместено в хоризонтална посока с около 20 см.

Заемането на началната поза се извършва в заключителната пета фаза, като характера на траекторията на ОЦТ е значително по-различен от този през първата фаза и притежава забележимата девиация в хоризонтално направление от предходната фаза.

За ритмичната структура на упражнението, определяща се от времетраенето на отделните фази се получиха следните резултати: 1-ва фаза – 1.04 ± 0.18 s; 2-ра фаза – 0.68 ± 0.10 s; 3-та фаза – 0.12 ± 0.04 s; 4-та фаза – 0.80 ± 0.12 s; 5-та фаза – 1.08 ± 0.18 s. Въпреки относително малките интервали от време, все пак може да се отбележи разликата между времената при движение нагоре и надолу, като по-голямото време в 4-тата фаза е в съответствие със значително по-дългата траектория на ОЦТ в тази фаза.

Друга характеристика, която също определя качеството на изпълнение на упражнението, е плавността на движенията. Като интегрален показател за тази характеристика може да се разглежда липсата на резки промени в траекторията на ОЦТ, които значително по-чувствително могат да се оценят от нейната първа производна т.е. от скоростта на движение на ОЦТ, чиито графики са показани на фиг. 5.

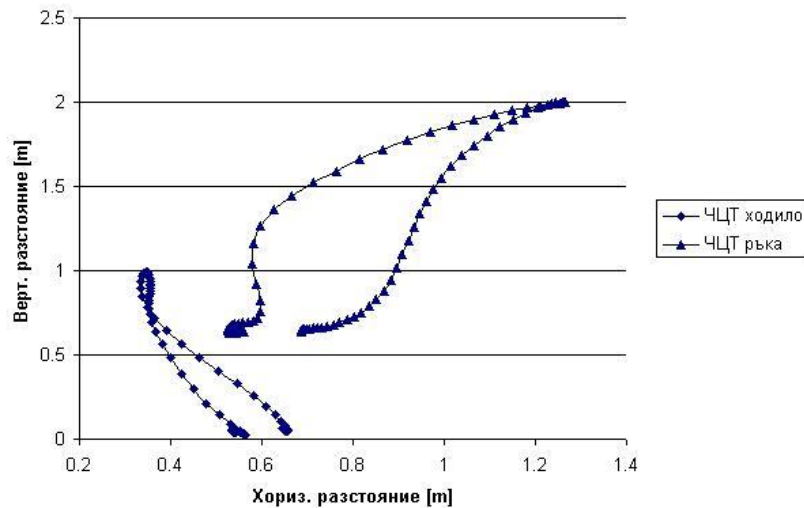


Фиг. 5. Линеини скорости на ОЦТ на опитното лице Х.Х.

От данните за скоростта, както за хоризонтално и вертикално направление, така и от общата скорост могат да се определят много по-точно промяната в посоката и характера на движение. В това отношение може да се отбележи, че при движението нагоре скоростите в двете посоки имат приблизително еднаква максимална стойност от 0.55 m/s и сходна форма, което означава равномерно приложени силови усилия и добро пространствено управление. При движението надолу обаче се наблюдава забележима разлика в характера на графиките и по-висока максимална стойност, основно в хоризонтална посока. Очевидно управлението в отстъпващ режим на работа затруднява изпълнението и води до допълнителни компенсаторни усилия за стабилизиране на ускорението в нисходяща посока.

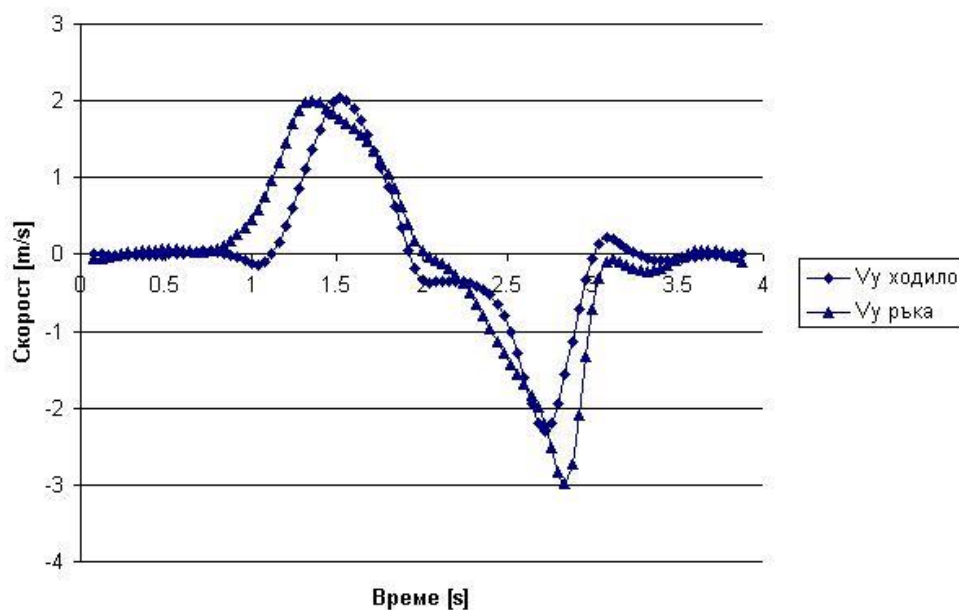
Както беше споменато по-горе, това упражнение има повече представителни функции. Във връзка с това добро впечатление при неговото изпълнение прави и синхрона в движенията на маховите долен и горен крайник, както и пътя който изминават крайните им дистални звена. На фиг. 6 са показани траекториите на движение на ходилото и ръката на

маховите крайници. Подобно на траекторията на ОЦТ на цялото тяло и тук може да се отбележат различните траектории при движение нагоре и надолу. Разликата е по-значителна при ръката и това има своето обяснение, тъй като тя е свързана с горния край на туловището, където амплитудата на движение е по-голяма.



Фиг. 6. Траектории на ЧЦТ на ходилото и ръката на опитното лице Х.Х.

Синхронът между движението на ходилото и ръката в по-забележимата вертикална посока може да бъде анализирано от развитието на съответните им линейни скорости в същата посока, дадени на фиг. 7.



Фиг. 7. Линейна скорост във вертикална посока на ЧЦТ на ходилото и ръката на опитното лице Х.Х.

Като сегмент с по-малка маса, ръката изпреварва в началото на движението нагоре, но във втората закъснителна част те са синхронни до най-високата точка, където скоростта им е отново нулева във фазата на задържане. Тук неподвижността на ходилото е по-къса по време и започва движението си надолу малко по-рано, като в заключителната част са задоволително синхронни. Получените резултати са добър атестат за изпълнителя по отношение на управление на пространствената и силова структура на упражнението.

Структура и биомеханичен анализ на движенията при състезателни похвати

За разлика от представителния характер на разгледаното упражнение, във втората част на изследването са анализирани движенията при похвати, които имат спортно-състезателен характер. Основно при тях е силовото единоборство, имащо за цел да принуди противника да докосне пода с някоя част от тялото си или да излезе пръв извън рамките на спортната кръгова площ. За осигуряване на тази цел обикновено се използват спортно-технически похвати на борба, които дестабилизируют равновесната

устойчивост на противника и чрез прилагане на силови усилия върху определена част от тялото създават условия за последователно преместване на противника към границите на полето.

При оценката на техниката на спортните действия в биомеханиката неизменно се използват такива понятия като рационалност и ефективност на техниката.

Рационалността на техниката трябва да се разглежда не като характеристика на състезателя, а на самия начин на изпълнение на движенията, използващ различни техники.

Под ефективност на техниката се разбира нейната степен на близост до най-рационалния технически вариант на даден състезател т.е. ефективността на техниката е характеристика не на този или онзи вариант на техника, а степента на владееене на определена техника [2].

Особено важна роля играе търсенето на количествени критерии за рационалност на техниката при оценка на двигателните действия в спортните единоборства, където критериите за ефективност могат да бъдат нееднозначни, предвид голямото количество всевъзможни взаимодействия с противника. Определянето на целия диапазон на вариативност при изпълнение на двигателните действия, приложени към всяка конкретна ситуация на възможните взаимодействия със съперника, се явява много важен при обучението и усъвършенстването на двигателните действия в спортните единоборства.

По правилата на сумо всяка схватка започва от положение, при което състезателите са на определено разстояние един от друг и са в характерна стартова поза. По такъв начин, независимо от вида на използвания състезателен похват, движенията във всяка схватка могат да се разделят на следните фази:

- 1) начално ускоряване – от начална поза до момента на начален допир с противника;
- 2) начален контакт – от началния допир с противника до осъществяване на конкретния похват за борба;
- 3) развитие на борбата;
- 4) финално усилие;

III.5.1. Кинематичен анализ на началната поза за атака

Имайки предвид силовия характер на взаимодействията при този спорт, от особена важност тук е първата фаза на всяка схватка – началното ускоряване на състезателя срещу противника си. Основна цел на тази фаза е достигане за минимално време до противника с максимално възможна линейна скорост, при разгъната кинематична верига и наклон, осигуряващ предимство за противодействие и успешно прилагане на съответния похват за атака. Всичко това подсказва на първо място за взривния характер на движенията в тази първа фаза. Именно по този начин може в края на фазата да се осигури кинетична енергия, даваща предимство при сблъсък с противника. Важно условие за реализиране на успешна атака е геометрията на началната поза, определяща се от ъглите между механичните линии на сегментите на долните крайници и туловището. Тези ъгли до голяма степен се определят както от анатомо-функционалните особености на опорно-двигателния апарат на човека, така и от поставената двигателна задача. В това отношение при нашето изследване получихме следните резултати:

- 1) ъгъл между подбедрицата и хоризонта – 72 ± 4 градуса;
- 2) ъгъл между бедрото и хоризонта – 44 ± 4 градуса;
- 3) ъгъл между туловището и хоризонта – -6 ± 3 градуса (тук знакът минус означава, че раменната става се намира под хоризонталната линия, минаваща през тазобедрената става).

От тези данни за вътрешните ставни ъгли в колянната и тазобедрената стави се получиха резултатите, показани на фиг. 8.



Фиг. 8. Ставни ъгли при начална поза за атака

Оптималността на подобна конфигурация може да се обоснове с факта, че така се осигурява начално включване на най-мощните разгъващи мускулни групи, даващи взривния характер на движението. От друга страна почти двойно по-големия ъгъл на разгъване в тазобедрената става осигурява по-дълъг път на ускорение на туловището, което е един от критериите за биомеханична целесъобразност на движенията. Това не забавя движението, тъй като скоростта в хоризонтална посока се определя основно от ъгловата скорост на разгъване в колянната става и началното положение на проекцията на ОЦТ, която се намира в предния край на опорната площ. Така по-дългия път на ротация на туловището осигурява натрупване на кинетична енергия на тялото и подходящия ъгъл за атака.

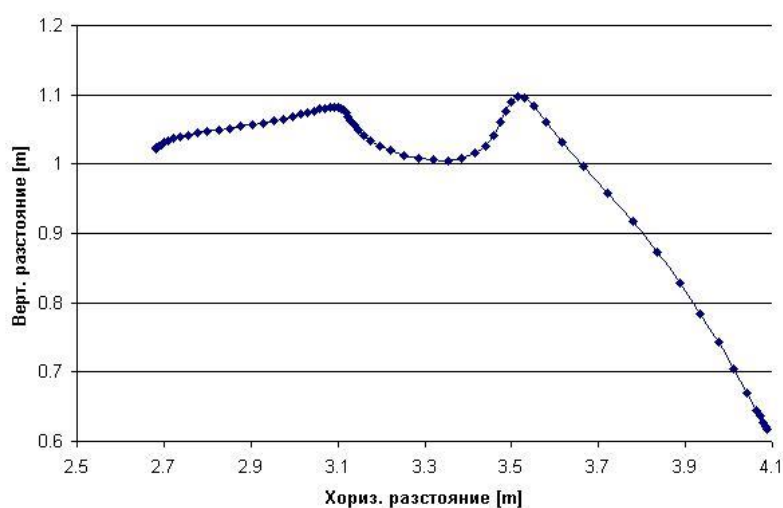
Структура и биомеханичен анализ на борбата чрез захват за колана

Един от често използваните похвати на борба е посредством захват за колана на противника, показан на фиг. 9. На фигурата са илюстрирани характерни моменти от развитието на борбата, като с цифри са обозначени номерата на съответните кадри. По такъв начин нагледно може да се оцени времевата структура и продължителността на отделните фази на схватката.



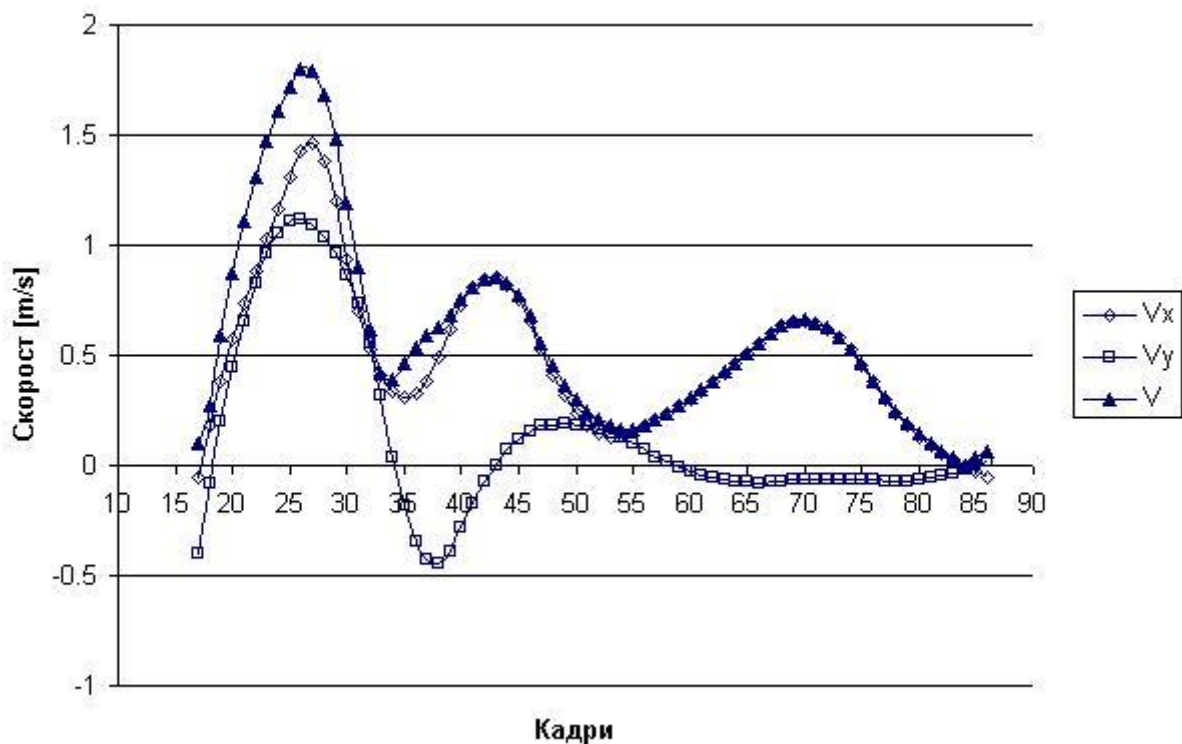
Фиг. 9. Характерни кадри от развитието на борбата чрез захват за колана

На фиг. 10 е показана траекторията на ОЦТ на победителя в тази борба (десния състезател на фиг. 9).



Фиг. 10. Траектория на ОЦТ на атакуващия състезател при борбата чрез захват за колана

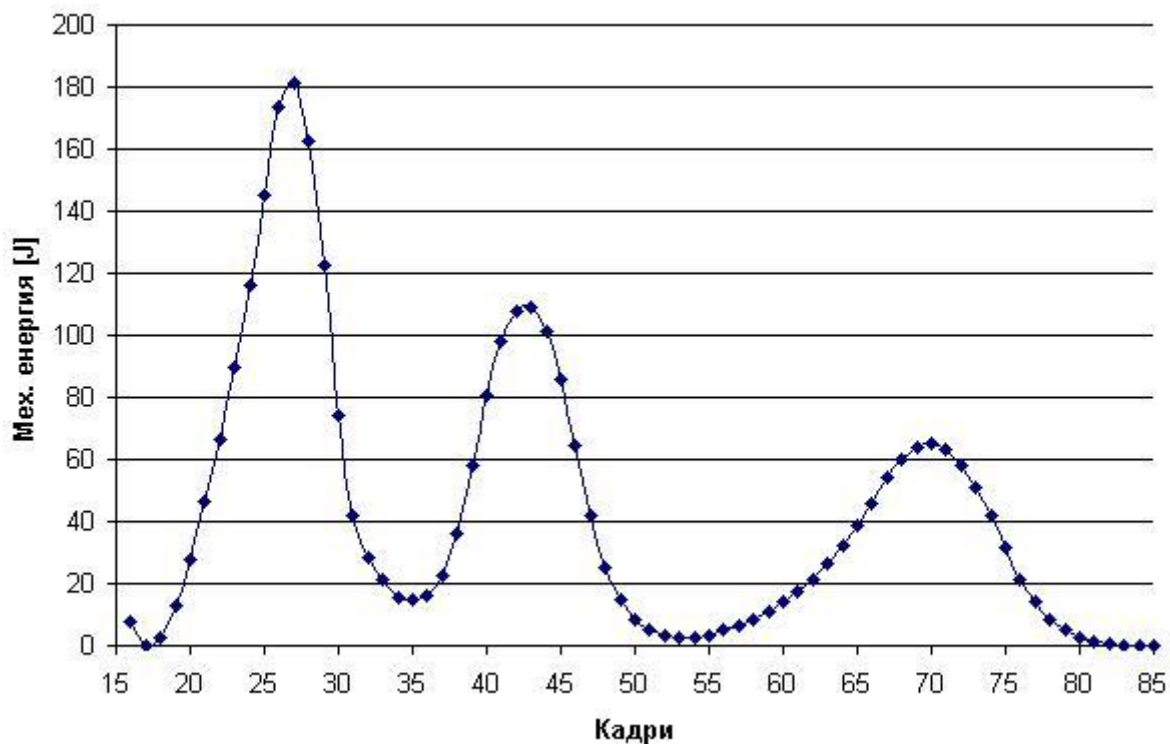
На фиг. 11 са дадени линейните скорости в хоризонтална и вертикална посока, съответно V_x и V_y и общата скорост V на ОЦТ на десния състезател.



Фиг. 11. Линейни скорости на ОЦТ на атакуващия състезател при борбата чрез захват за колана

От техните стойности съвсем точно може да се установят времевите периоди на отделните фази, натрупаното количество движение в края на ускорителната първа фаза, съотношението между силовото взаимодействие между противниците и скоростния характер на развитие на борбата.

Един добър интегрален показател, чрез който може да се характеризират отделните начини на борба, е кинетичната енергия на ОЦТ на състезателите. Развитие на този параметър в хоризонтална посока за десния състезател е показано на фиг. 12.



Фиг. 12. Кинетична енергия в хоризонтална посока на атакуващия състезател при борбата чрез захват за колана

Тук винаги обаче трябва да се има предвид, че този параметър характеризира отделния състезател само за времето на първата фаза. През останалата част от борбата той има интегрален характер, тъй като противниците обикновено са в захват и кинетичната енергия се получава от суперпозицията на силовото взаимодействие между тях.

Получените резултати за фазата на ускоряване на разглежданата борба сочат, че нейната продължителност е от 17-ти до 27-ми кадър т.е. 10 кадъра или 0.4 s. В края на фазата, точно преди момента на първоначален допир с противника, линейните скорости и кинетичната енергия на ОЦТ имат максимум, като скоростта в хоризонтална посока V_x е 1.46 m/s и кинетичната енергия в същата посока е 181 J. Средното ускорение по време на фазата е 3.65 m/s^2 , изчислената приложена средна мускулна сила F_{cp} се равнява на 620.5 kg и развития импулс на силата $F_{cp}\Delta t$ или количеството движение $m\Delta V$, с което посреща противника, се равнява на 248.2 kgm/s.

През втората фаза за времето от 0.36 s, вследствие на противодействието на другия състезател, скоростта се амортизира до 0.38 m/s, като състезателя снижава своето ОЦТ с около 10 см, осигурявайки си по-сигурен захват за колана на противника и позиционно предимство. Положителната стойност на скоростта означава, че десния състезател е преодолял насрещните противодействащи усилия и резултантното движение на ОЦТ е в негова полза. Изправяйки своя противник той създава условия с по-малко вложени усилия да продължи да го изтласква. Следва нов локален максимум на хоризонталната скорост от 0.85 m/s и съответно на кинетичната му енергия от 109 J. Това принуждава противника да направи стъпка назад, като тялото му се накланя напред, тъй като е в захват и по този начин си осигурява по-голям съпротивителен въртящ момент. Това веднага се отразява на скоростта на движение на ОЦТ, достигайки до нов локален минимум от 0.18 m/s. По този начин, използвайки полученото позиционно предимство десния състезател постепенно на няколко стъпки успява да избута противника до границата на полето. Във финалната фаза, вместо да прилага усилие напред, той използва посоката на противодействие на противника си, като лесно го придърпва към себе си, повдига го и го изнася с една крачка извън полето.

Обобщавайки, за този начин на борба може да се каже, че той е свързан със значително силово единоборство, борбата протича на тласъци, като регистрираната продължителност на схватката е 5.68 s. Захватът за колана осигурява стабилна и здрава връзка и дава предимство при противници с по-малка маса.

Структура и биомеханичен анализ на борбата чрез обхват на туловището

Друга използвана техника на борба е чрез обхват на туловището. На фиг. 13 са показани характерни моменти от развитието на изследваните от нас двигателни действия при този похват, като е обозначена времевата последователност чрез номерата на кадрите.

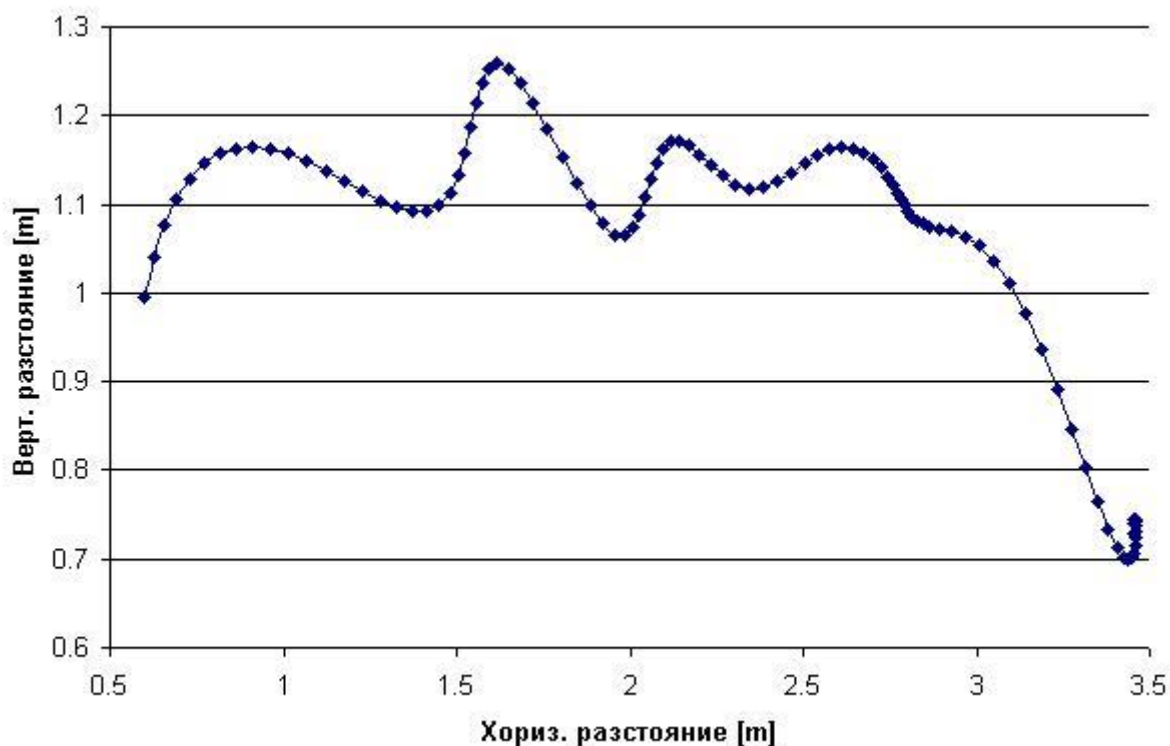


Фиг. 13. Характерни кадри от развитието на борбата чрез обхват на туловището

Подобно на първата изследвана техника на борба и тук са показани траекторията на ОЦТ на десния състезател (фиг. 14), линейните скорости на неговия ОЦТ (фиг. 15) и кинетичната му енергия в хоризонтална посока (фиг. 16).

Първата фаза на началното ускоряване при този похват е с продължителност 11 кадъра или 0.44 s, като ОЦТ се движи по гладка права линия под ъгъл 46 градуса спрямо хоризонта към противника и изминава 0.35 м в хоризонтална посока. Стартовият ъгъл в колянната става е 120 градуса и изчислената ъглова скорост на разгъване в ставата е 159 градуса в секунда. За тазобедрената става ставния ъгъл е 35 градуса, което води за ставната ъглова скорост на ротация от 329 градуса в секунда. Както беше отбелязано по-рано, тази почти двойна разлика в ъгловите скорости на разгъване в двете стави изисква заучено синхронно управление на усилията на отговорните мускулни групи с цел постигане на устойчива праволинейна траектория на ОЦТ под ъгъл около 45 градуса.

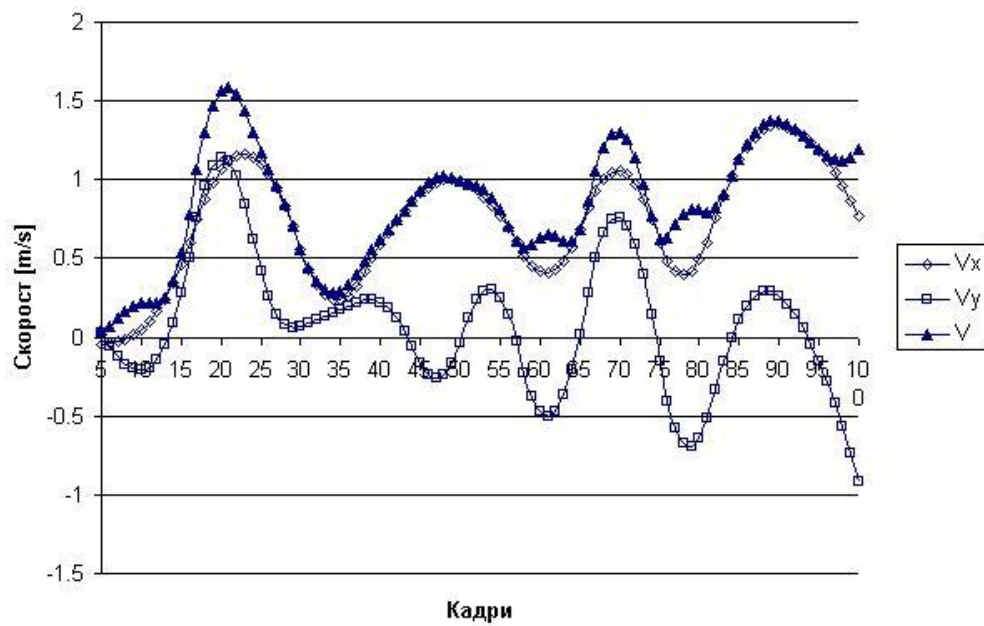
Максималната хоризонтална скорост, постигната през тази фаза се равнява на 1.16 m/s., а максималната кинетична енергия в същата посока е 137J.



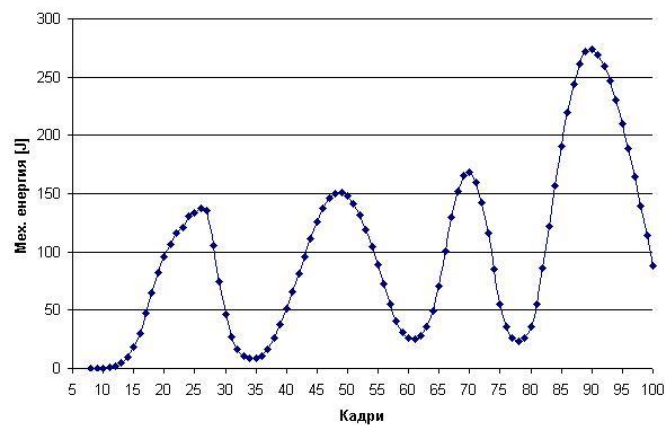
Фиг. 14. Траектория на ОЦТ на атакуващия състезател при борбата чрез обхват на туловището

През следващата фаза на начален контакт скоростта на ОЦТ закономерно намалява до 0.24 m/s за време от 0.48 s. Тъй като захватът се осъществява чрез обгръщане на горната част на туловището, то траекторията на ОЦТ се издига само с няколко сантиметра. Този начин на захват е по-неустойчив, но се намира над местоположението на ОЦТ на противника и от механична гледна точка осигурява по-голямо рамо за въртящия момент на приложената сила. По такъв начин, състезателят получил позиционно предимство вследствие на по-високата кинетична енергия през първата фаза, постепенно започва да изправя противника от наклоненото му положение и го принуждава да направи стъпка назад за да запази равновесната си устойчивост. Това неминуемо води до нов локален максимум на кинетичната енергия и скоростта в хоризонтална посока, които както сочат резултатите са с по-високи стойности от предходните. Така развитието на борбата при този похват има подчертано вълнообразно импулсен характер, който се потвърждава и от графиката за кинетичната енергия на фиг. 16. По-високите стойности при всеки следващ максимум

означават също така, че десния състезател умело използва и силата на инерция при движението назад на неговия противник, което е друг основен принцип при единоборствата – умението за възползване от посоката на външните сили и силови въртящи моменти. Това, освен че повдига коефициента на икономичност, е и характерен белег за по-съвършена техника. По-нататък, чрез премерени силови усилия, десния състезател си осигурява средна скорост на избутване между 0.4 m/s и 1 m/s, като през финалната фаза кинетичната му енергия достига до 274 J.



Фиг. 15. Линейни скорости на ОЦТ на атакуващия състезател при борбата чрез обхват на туловището



Фиг. 16. Кинетична енергия в хоризонтална посока на атакуващия състезател при борбата чрез обхват на туловището

Структура и биомеханичен анализ на борбата чрез атакуващ натиск с главата върху туловището на противника

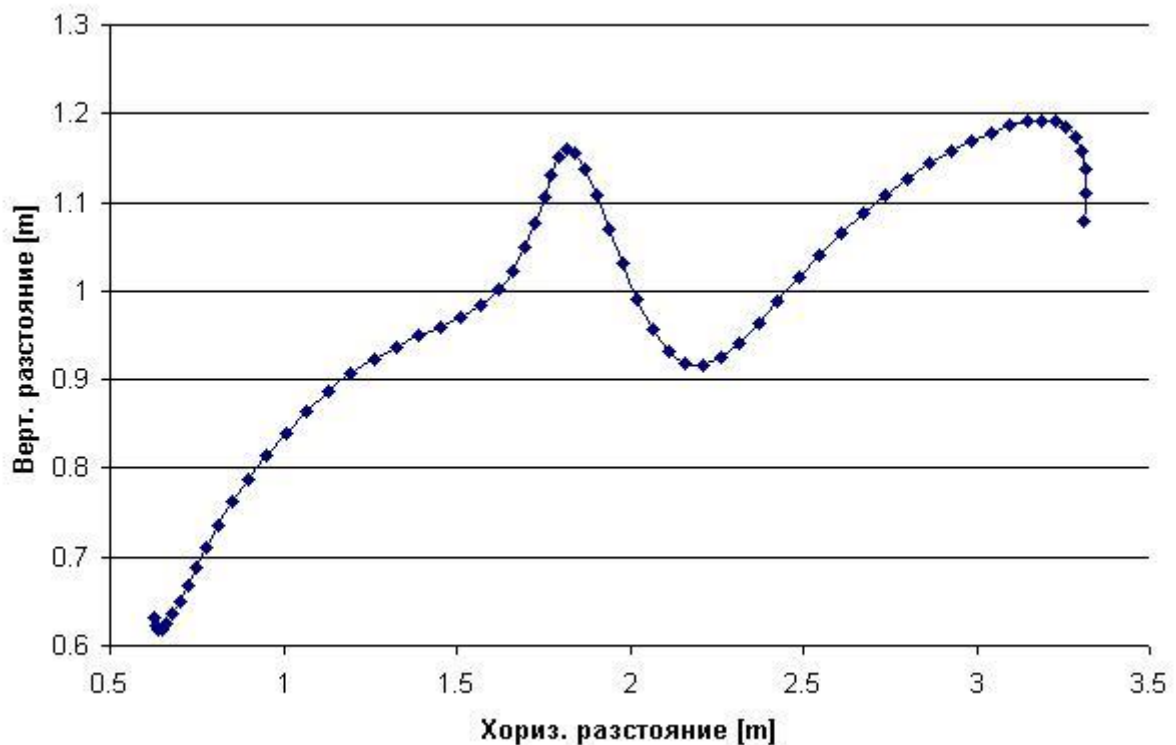
Характерно за изследваните по-горе похвати на борба е сравнително еднотипния начин на захват по време на развитието на схватката и при двамата състезатели. Следващият анализиран начин на борба, показан на фиг. 17, е малко по-различен от разгледаните, тъй като не може едновременно да се приложи от двамата състезатели. Докато двигателните действия през първата и втора фази тук протичат аналогично на другите похвати, то в следващата фаза единия състезател упражнява силов натиск фронтално върху горната част на туловището посредством главата си. В случая това е левия състезател.

За целите на анализа на фиг. 18 е показана траекторията на ОЦТ на левия състезател, както и неговите линейни скорости и кинетична енергия – съответно на фиг. 19 и фиг. 20.



Фиг. 17. Характерни кадри от развитието на борбата чрез натиск с главата върху туловището

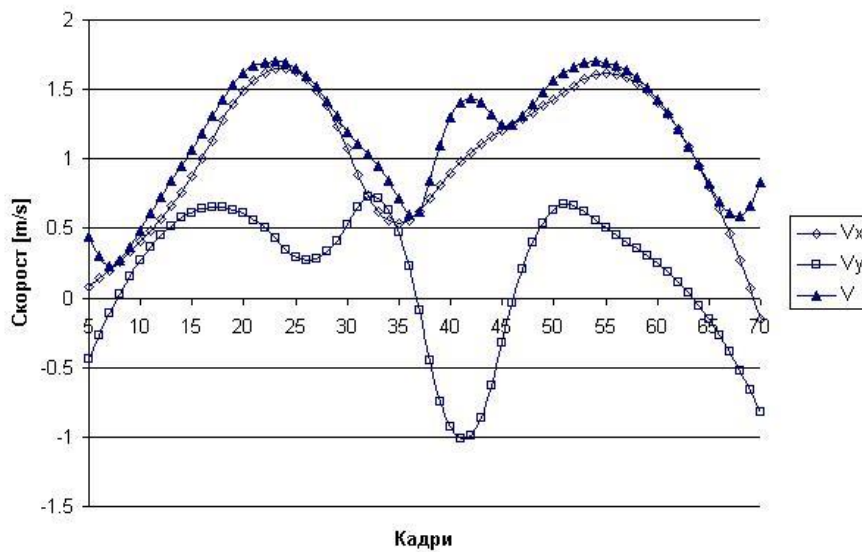
За да бъде коректна оценката на получените резултати, особено при сравнения на параметри, които са функция на теглото, трябва да се отчита, че масата на левия състезател е с 23.5 % по-малка от десния и той е с 5 см по-нисък. Ако се съпоставят подобни параметри между различните похвати, то предварително е необходимо да се направи нормализация по отношение на масата на състезателите.



Фиг. 18. Траектория на ОЦТ на атакуващия състезател при борбата чрез натиск с главата върху туловището

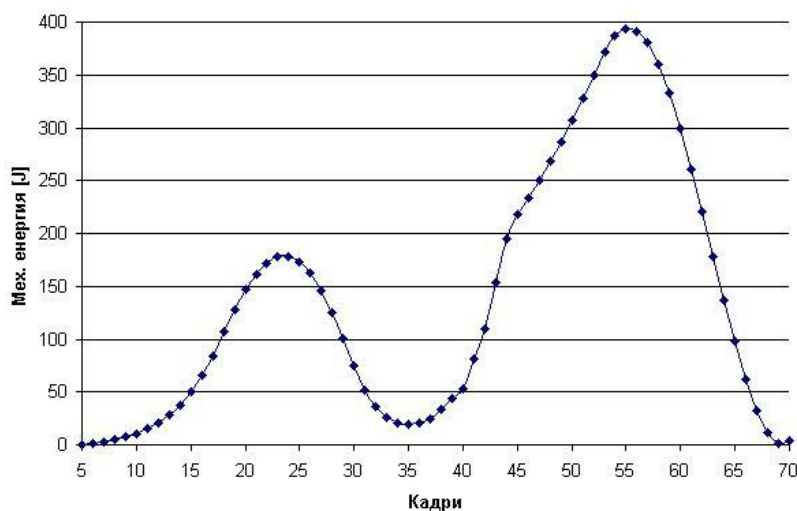
Продължителността на първата фаза за левия състезател тук е 0.48 s, като траекторията на ОЦТ е “издута”, което означава, както може много точно да се определи от графиката на скоростите, че състезателя ускорява изпреварващо разгъването в тазобедрената става (движение на ОЦТ нагоре) и впоследствие мощно ротира и спрямо колянна става. Този начин на движение може да е продиктуван от целите на бъдещата атака или да е индивидуален стил на състезателя. Независимо, че стойността на скоростта в хоризонтална посока е 1.7 m/s, дефазирването на максимумите и значително по-ниската вертикална скорост довеждат до споменатата нелинейност на

траекторията. Натрупаната кинетична енергия в края на фазата има локален максимум, който е със стойност от 178 J.



Фиг. 19. Линейни скорости на ОЦТ на атакуващия състезател при борбата чрез натиск с главата върху туловището

Втората фаза може да се раздели на две подфази . През първата състезателят успява да задържи хоризонталната си скорост положителна (локален минимум от 0.5 m/s) и да издигне своето ОЦТ с близо 20 см нагоре за сметка на изправяне на противника. През следващата подфаза за около 0.4 s левия състезател, накланяйки се напред, снижава ОЦТ с почти 25 см и “забожда” главата си в туловището на противника, като продължава да го избутва.



Фиг. 20. Кинетична енергия в хоризонтална посока на атакуващия състезател при борбата чрез натиск с главата върху туловището

За да запази равновесие атакувания състезател прави стъпки назад, което води до увеличаване на положителната скорост в хоризонтална посока на атакуващия състезател, като траекторията на ОЦТ отново започва да се движи нагоре и напред. Прилагайки силовите усилия по диагонал концентрирано в горната част на туловището се постига едновременно изправяне на противника (което намалява рамото на неговия съпротивителен въртящ момент) и увеличаване на рамото на събарящия въртящ момент на атакуващия. В резултат се увеличава скоростта на избутване, което се способства и от използването на инерцията на противника в посока назад. Всички тези предпоставки водят до постигане на максимум на кинетичната енергия от 394 J във финалната фаза една стъпка преди границата на полето.