УНИВЕРЗИТЕТ СВ „КИРИЛ И МЕТОДИЈ” – СКОПЈЕ

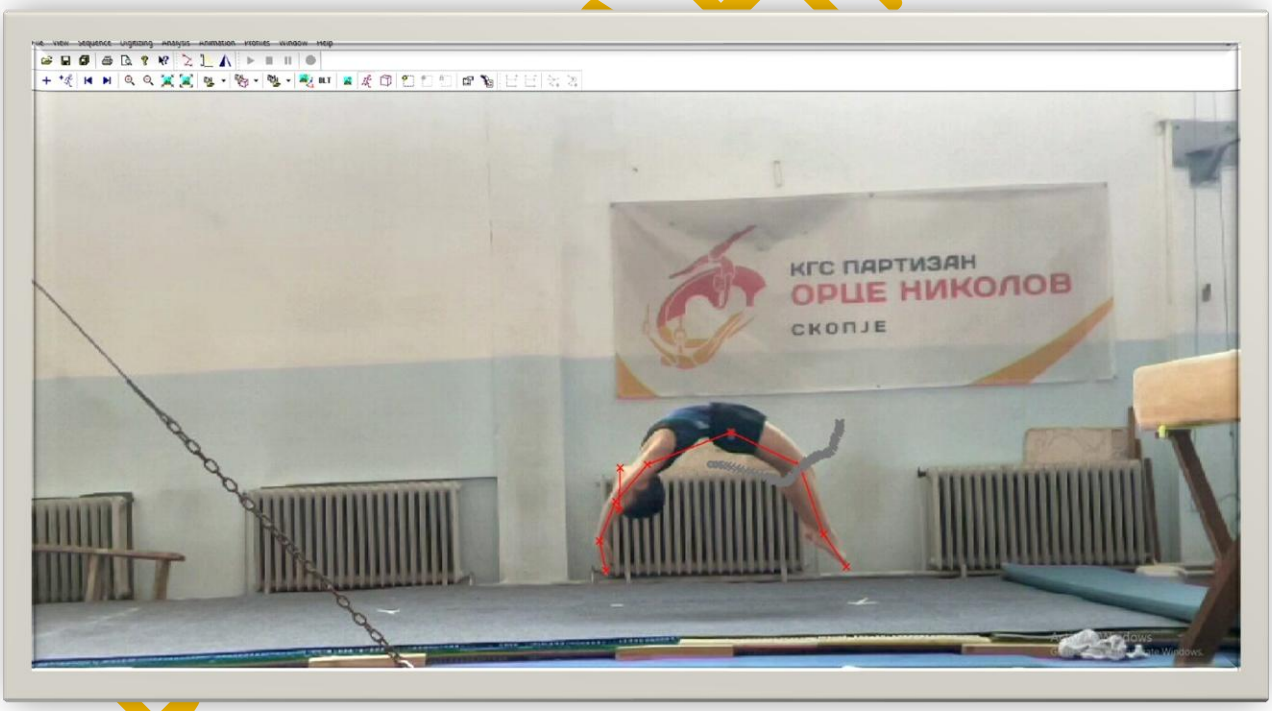
ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКО ОБРАЗОВАНИЕ, СПОРТ И ЗДРАВЈЕ

ДИПЛОМСКИ ТРУД

Предмет: Биомеханика

КИНЕМАТИКА И МЕЃУЗГЛОБНА КООРДИНАЦИЈА НА ПРЕМЕТ НАЗАД НА ПАРТЕР КАЈ СУБЈЕКТИ СО РАЗЛИЧНО НИВО НА ПЕРФОРМАНСА -ИСТРАЖУВАЊЕ НА СЛУЧАЈ

ЧИКА



Ментор:
Проф. д-р Александар Ацески

Изработил:
Кристијан Бучевски
Број на индекс: 6867

Скопје, октомври 2025

БИОМЕХАНИКА

Членови на комисија:

Проф. д-р Александар Ацески – ментор

Проф. д-р Катерина Спасовска – член

Проф. д-р Горан Никовски – член

Датум: 10.10.2025, 12:00 часот

СОДРЖИНА

1. ВОВЕД 6
2. ДОСЕГАШНИ ИСТРАЖУВАЊА 8
3. ПРЕДМЕТ, ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО 9
3.1. Предмет на истражување 9
3.2. Цел на истражувањето 9
3.3. Задачи на исртажувањето 9
4. ХИПОТЕЗИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО 10
5. МЕТОД НА РАБОТА 10
5.1. Примерок на испитаници 10
5.2. Процедура 10
5.3. Варијабли 11
5.4. Анализа на податоци 14
6. РЕЗУЛТАТИ 14
7. ДИСКУСИЈА 22
8. ЗАКЛУЧОК 26
9. ЛИТЕРАТУРА 27
10. ПРИЛОЗИ 28

БИОМЕХАНИКА

КИНЕМАТИКА И МЕЃУЗГЛОБНА КООРДИНАЦИЈА НА ПРЕМЕТ НАЗАД НА ПАРТЕР КАЈ СУБЈЕКТИ СО РАЗЛИЧНО НИВО НА ПЕРФОРМАНСА - ИСТРАЖУВАЊЕ НА СЛУЧАЈ

Целта на истражувањето беше компарација на кинематичките показатели и координацијата на движењето при изведба на премет назад на партер од испитаници со различно ниво на перформанса. На примерок од тројца испитаници, рекреативен гимнастичар, гимнастичар и гимнастичарка беше извршена 2Д кинематичка анализа за одредување на временските, просторните и просторно-временските кинематички показатели. Координацијата на движењето беше анализарана преку агол-агол дијаграм произлезен од аголните позиции.

Резултатите укажуваат дека испитаниците имаат различен ритам на изведба на премет назад кој е особено изразен во првата фаза од движењето. Највисоки вредности кај показателите од аголната кинематика беа забележани кај гимнастичарката, при што најизразена беше разликата во максималната аголна брзина во зглобот на рамо при замавнување со раце пред одразување во фаза 1.

Анализата на меѓузглобната координација откри присуство на различни обрасци на координација во втората, третата, четвртата и петтата фаза од изведбата на елементот, со што во голем степен би можело да се потврди индивидуалната природа на координациските обрасци на движење.

Добиените резултат можат да бидат искористени како одредници во анализата на спортската техника и планирањето и програмирањето на тренажните содржини.

Клучни зборови: компарација, временски, просторни, просторно-временски, агол-агол дијаграм, тежиште на тело.

БИОМЕХАНИКА

KINEMATICS AND INTER-JOINT COORDINATION OF A BACKWARD HANDSPRING ON FLOOR IN SUBJECTS WITH DIFFERENT PERFORMANCE LEVELS – A CASE STUDY

The aim of the study was to compare the kinematic indicators and movement coordination during the execution of a back handspring on the floor performed by subjects with different performance levels. A 2D kinematic analysis was conducted on a sample of three participants — a recreational gymnast, a male gymnast, and a female gymnast—to determine temporal, spatial, and spatio-temporal kinematic parameters. The coordination of movement was analyzed using an angle–angle diagram derived from the angular positions of the joints.

The results indicate that the participants exhibited different execution rhythms of the back handspring, most prominently during the first phase of the movement. The highest values of angular kinematic indicators were recorded in the female gymnast, with the most pronounced difference observed in the maximum angular velocity of the shoulder joint during the arm swing preceding take-off in phase 1.

The analysis of interjoint coordination revealed the presence of distinct coordination patterns during the second, third, fourth, and fifth phases of the element's execution, which strongly confirms the individual nature of coordination movement patterns.

The obtained results may serve as reference points for the analysis of sports technique, as well as for the planning and programming of training content.

Keywords: comparison, temporal, spatial, spatiotemporal, angle-angle diagram, center of mass.

БИОМЕХАНИКА

1. ВОВЕД

Во многу спортови подобрувањето на физичките перформанси се одвива преку оптимизирање на спортската техника. Во таа насока биомеханиката може да има клучна улога ако се има предвид нејзиниот интердисциплинарен карактер овозможувајќи примена на принципите на механиката во анализата на биолошките системи. Во основата на овие принципи е утврдувањето на ефектот од дејството на силите при изведување на движењето кои можат да бидат внатрешни или надворешни. Примарна цел е подобрување на спортскиот перформанс, додека секундарната цел е превенција од повреди и рехабилитација (Туфекчиевски & Ацески, 2009).

Оптимизирањето на спортската техника може да вклучи квалитативен пристап кој се темели пред се на визуелното набљудување и опишување на движењето, или квантитативен кој вклучува директно или индиректно мерење на физичките показатели кои се од важност за перформансата. Изборот на метод зависи од самата природа на перформансата која се анализа но и од расположливата апаратура и условите за негова реализација.

Гимнастиката е спорт кој бара исклучителна контрола, сила, рамнотежа и координација, а секое движење што ќе го изведе гимнастичарот може да се објасни преку негова биомеханичка анализа . Од најосновниот елементи како стој на раце, до комплексни свртувања и вртења во вис, биомеханиката овозможува фундаментално разбирање како телото произведува и абсорбира сила. Со мерење на силите како што е силата на реакција на подлога, импулсот и вртливиот момент, се интерпретираат многу важни концепти како што се рамнотежата, стабилноста и преносот на енергија, но исто така тоа овозможува да се разбере зошто некое движење е помалку а некое повеќе ефикасно и како гимнастичарите изведуваат и навидум невозможни елементи.

Во спортската гимнастика постигнувањето на високо ниво на достигнување вклучува учење и изведување на многу технички комплексни акробатски елементи. Учењето на ваквите елементи може да трае од неколку до повеќе од десет години. Индивидуалните елементи кој се научени во овој период подоцна се усовршуваат преку пат на повторување и комбинирање со други елементи со што ќе можат да бидат вметнати во состав кој што се изведува за време на натпревар (Omorczyk, Nosiadek, Staszkiewicz, Bujas, & Puszczałowska-Lizis, 2017). Еден од клучните елементи на партер воа спортска гимнастика е премет назад, кој во основа претставува градивен блок кон друг посложени елементи. Техниката на елеменот премет назад треба да се научи релативно брзо со цел да може гимнастичарот понатаму да започне со изучување на технички посложени елементи. Изведбата на кој било гимнастички елемент зависи од многу фактори како што се: тренажното

БИОМЕХАНИКА

искуство на гимнастичарот, телесната градба, нивото на моторички вештини, флексибилност, но исто така е важно и искуството на тренерот и неговите педагошки квалитети. При учење и усовршување на елементите покрај набљудување од страна тренерот, може да се користат и детални биомеханички анализи на видео снимки особено доколку станува збор за покомплексни и елементи со поголема тежинска вредност.

Примарната задача на еден тренинг во спортска гимнастика е да се оспособи гимнастичарот да ги изведува елементите од натпреварувачката програма сигурно и точно на високо ниво. Квалитетот на нивната изведбата е детерминиран од излезните показатели поточно од нивните кинематички и кинетички каректеристики. Во оваа насока анализата на кинематичките параметри на гимнастичките елементи е широко распостранет и ефективен метод за оценување на ефективноста на перформансата. Овој метод успешно се користи за решавање на различни истражувачки задачи, кој исто така постепено се воведува и во системот на оценување во гимнастиката. Голем број студии потврдиле дека со кинематичката анализа на гимнатичките елементи може да се утврди структурната врска помеѓу елементите со иста или слична техника. Исто така е потврдено и постоењето трансфер на знање со што се овозможува постапност при обучувањето на гимнастичките елементи (Semenov et al. 2021).

Анализата на кинематиката на дисректни показатели во спортската гимнастика е вообичаен пракса на биомеханичарите кои ја утврдуваат оптималната техника на изведба, меѓутоа се поактуелно за процена на координацијата се методите и алатките за анализата на меѓузглобната координација. Човекот како сложен динамички систем е составен од голем број сегменти кои изискуваат прецизна временска усогласеност и синхронизација на повеќе зглобови за да се постигне оптимална перформанса. Од посебна важност кај анализата на меѓузглобната координација е откривањето на временската и просторната поврзаност на движењата на зглобовите која овозможува да се разбере како човекот ги управува и регулира движењата.

БИОМЕХАНИКА

2. ДОСЕГАШНИ ИСТРАЖУВАЊА

Huang & Hsu (2009) ја истражувале разликата помеѓу биомеханичките показатели на елементот премет назад. Примерокот на испитаници го сочинувале осум врвни гимнастичари со дванаест годишно тренажно искуство и осум чирлидерки со едно годишно искуство. Анализата била извршена со тензиометриска платформа Kistler која била синхронизирана со камера со брзина од 60Hz. Авторите заклучиле дека е потребно повисок одраз и подолга фаза на лет за изведба на подобар премет назад.

Penitente & Merni (2011) користејќи оптичко-електричен систем спровеле истражување на пет гимнастичарки со различно ниво на умешност. Утврдиле дека најврвната гимнастичарка постигнала поголемо хоризонтално забрзување за време на фазата на одраз и фазата на потпор со раце и покажала поголемо вертикално забрзување за време на фазата на потпор со раце и повисока траекторија на лет на рацете. А кај помалку вештите гимнастичарки се се утврдило изразено спуштање за време на фазата не лет од раце, како и несоодветно долга фаза на прв лет.

Lovecchio, Grassi, Shirai, Galante, Grandi, Ferrario, Sforza (2012) извршиле компаративна анализа на кинематичките показатели на шест машки и три женски гимнастичари кај премет назад. Притоа утврдиле дека при изведба на елементот во просек машките поминуваат поголемо растојание од женските, додека женските достигнуваат поголема височина. Поставеноста на долните екстремитети била хомогена кај испитаниците, а оддалеченоста на дланките во потпорната фаза со рацете била поголема кај машките во однос на женските сметано реалтивно во однос на ширината на рамениците.

На примерок од 10 машки јуниорски гимнастичари Semenov, Shlyakhtov & Rumyantsev (2021) го утврдиле ефектот од примената на кинематичка анализа во процесот на учење премет напред и премет назад на партер. Компарацијата на кинематичките показатели покажале позитивен трендна промените во кинематиката со што се потврдила оправданоста од нејзината примена во образованиот и тренажниот процес каде што е предвидено учење и усовршување на гимнастички содржини.

Omorczyk, Staszkiewicz, Lizis (2022) извршиле компаративна анализа на кинематички варијабли кај премет назад изведен од положба на стоење и во услови кога на елементот му претходни залет кај 4 врвни гимнастичари. Авторите утврдиле дека и кај двете варијанти на изведба хоризонталната брзина на тежиштето на телото се намалува од почеток на првата фаза на лет се до моментот на контакт на стапалата со подлогата. Понатаму, во однос на вертикалната компонента на брзината најголема вредност била забележана на крајот од потпорната фаза на стапалата.

БИОМЕХАНИКА

3. ПРЕДМЕТ, ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

3.1. Предмет на истражување

Предмет на дипломскиот труд беа определни кинематички показатели на елементот премет назад.

3.2. Цел на истражување

Главна цел на истражувањето беше да се утврдат компаративните разлики во кинематичките показатели меѓу гимнастичари со различно ниво на перформанса. Дополнително, како посебна цел беше поставено да се изврши компарирање на шаблонот на координација на телесните сегменти меѓу трите испитаници.

3.3. Задачи на исртажување

За успешно остварување на целта на истражувањето неопходно беше да се реализираат следните задачи:

- Собирање и анализа на достапната домашна и странска литература,
- Обезбедување адекватен примерок на испитаници,
- Избор на адекватни варијабли,
- Обезбедување адекватна техничка и спортска опрема,
- Обезбедување адекватни просторни услови,
- Дефинирање на протокол за снимање,
- Мерење на кинематичките варијабли,
- Утврдување на адекватни методи за процена на координацијата на движењето,
- Внесување, обработка, анализа и интерпретација на резултатите.

БИОМЕХАНИКА

4. ХИПОТЕЗИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Врз основа на предметот и целта на истражувањето произлегоа следните три хипотези:

Х1 - Се очекуваат разлики во кинематичките показатели меѓу анализираните гимнастичари и врвни гимнастичари

Х2 - Се очекуваат разлики во кинематички показатели меѓу трите испитаници

Х3 - Се очекуваат разлики во координацијата на движењето на телесните сегменти меѓу трите испитаници

5. МЕТОД НА РАБОТА

5.1. Примерок на испитаници

Примерокот на испитаници го сочинуваа еден рекретативен гимнастичар - студент во 4-та година на Факултетот за физичко образование, спорт и здравје во Скопје, еден гимнастичар и една гимнастичарка од КГС Партизан од Скопје. Рекреативниот гимнастичар беше на возраст 22.85 г., висина 180 цм, телесна маса 82 кг и рекреативен гимпастички стаж 2.5 г., гимнастичарот - возраст 10.2 г. висина 135 цм и телесна маса 35.3. кг спортски стаж 4 г. и гимнастичарката - возраст 10.65 г. висина 129.5 цм, телесна маса 32.4 кг. спортски стаж 2.5 г.

На самиот почеток испитаниците беа запознаени со целта на истражувањето, а како основен услов за учество во истражувањето беше отсуството на повреда во последните 6 месеци.

5.2. Процедура

Снимањето беше реализирано во гимнастичката сала на КГС Партизан, Орце Николов од Скопје.

На снимањето му претходеше 15 минутно загревање кое вклучи трчање и вежби за истегнување и обликување на телото. Потоа со цел да се дефинираат телесните сегменти, на секој испитаник му беа залепени 10 бели самолепливи маркери со кружна форма со дијаметар 2 цм на десната страна која беше свртена кон камерата (чело, брада, центар на зглоб на рамо, центар на зглоб на лакот, центар на зглоб на дланка, крајна точка на прстите од дланката, центар на зглоб на колк, центар на зглоб на колено, центар на глужд, крајна точка на прстите од стапалото). Кај сите

БИОМЕХАНИКА

испитаници маркерите беа поставени од ист истражувач со цел да се намали меѓуистражувачката варијабилност ов добиените резултати (Bullock et al. 2017).

Ipad 11 со временска резолуција од 240 fps и просторна резолуција 1920x1080 пиксели (HD) беше фискисиран на триножец на оддалеченост од 6.2 метри и висина од 1.2 метри со оптичката оска на камерата ориентирана нормално на рамнината на движење.

Пред започнување на снимањето испитаниците направија неколку пробни изведби. Вкупно беа снимени 5 изведби со пауза меѓу нив од 30-60 секунди. Тројца судии со повеќегодишно искуство ја оценија најуспешната изведба која понатаму беше проследена за обработка и анализа. Изведбите на гимнастичарот и студентот беа снимени во иста тренинг сесија додека гимнастичарката неколку дена подоцна.

Фазите на движењето беа одредени според методологијата на Omorczyk et al. 2017 со исклучок на фаза 1 која произлезе од авторот (слика 1).



Слика 1. Фази на премет назад.

5.3. Варијабли

За потребите на овој дипломски труд беа селектирани репрезентативни варијабли кои обезбедија доволна количина информации како неопходен услов за остварување на целта истражувањето.

<u>Кинематички варијабли</u>

Групата на кинематички варијабли ја сочинуваа временските, просторните и просторно-временските варијабли.

Временски варијабли:

- вкупно времетрање на движење,
- времетраење на фаза 1,
- времетраење на потфаза 1.1,
- времетраење на потфаза 1.2,
- времетрање на фаза 2,

БИОМЕХАНИКА

- времетраење на фаза 3,
- времетраење на фаза 4 и
- времетраење на фаза 5.

Просторни варијабли:

- амплитуда на релативниот агол на колкот во фаза 1,
- амплитуда на релативниот агол на колкот во потфаза 1,
- амплитуда на релативниот агол на колкот во потфаза 2,
- амплитуда на релативниот агол на колкот во фаза 2,
- амплитуда на релативниот агол на колкот во фаза 3,
- амплитуда на релативниот агол на колкот во фаза 4,
- амплитуда на релативниот агол на колкот во фаза 5,
- амплитуда на релативниот агол на коленото во фаза 1,
- амплитуда на релативниот агол на коленото во потфаза 1,
- амплитуда на релативниот агол на коленото во потфаза 2,
- амплитуда на релативниот агол на коленото во фаза 2,
- амплитуда на релативниот агол на коленото во фаза 3,
- амплитуда на релативниот агол на коленото во фаза 4,
- амплитуда на релативниот агол на коленото во фаза 5,
- амплитуда на релативниот агол на рамото во фаза 1,
- амплитуда на релативниот агол на рамото во потфаза 1,
- амплитуда на релативниот агол на рамото во потфаза 2,
- амплитуда на релативниот агол на рамото во фаза 2,
- амплитуда на релативниот агол на рамото во фаза 3,
- амплитуда на релативниот агол на рамото во фаза 4 и
- амплитуда на релативниот агол на рамото во фаза 5.
- Агол на траекторија на тежиште на тело после одраз.

Просторно-временски варијабли:

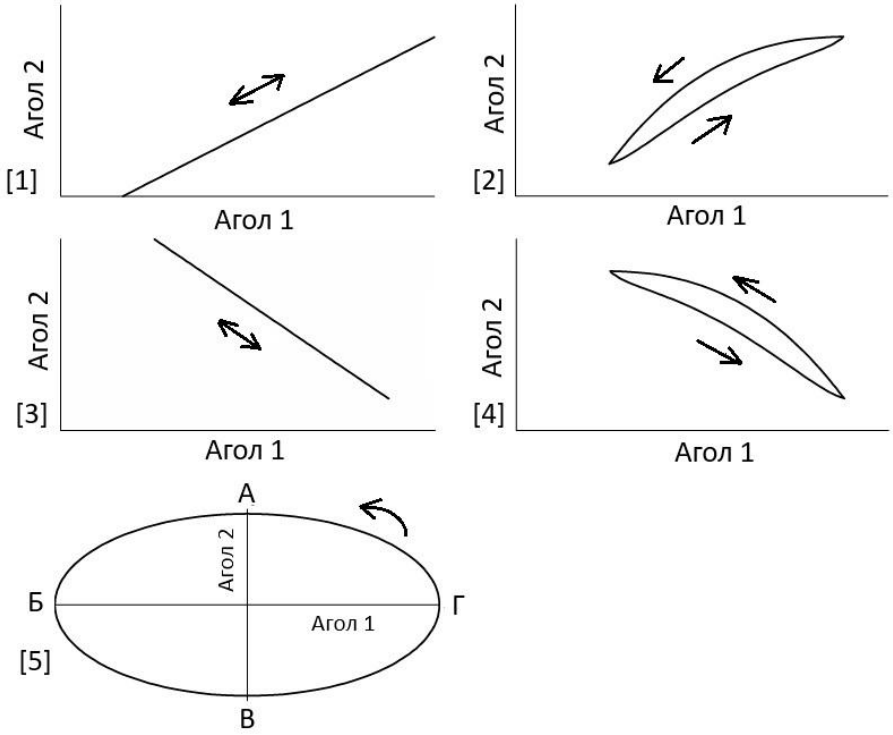
- Брзина на тежиште на тело во моментот на одразување во фаза 1,
- Максимална аголна брзина во зглоб на рамо при замавнување со раце пред одразување во фаза 1,
- Аголна брзина во зглоб на колк во момент на одразување во фаза 1 и
- Аголна брзина во зглоб на колено во момент на одразување во фаза 1.

БИОМЕХАНИКА

Варијабли за процена на координацијата на движење

Проценатa на координацијата на движењето се базираше на квалитативна анализа на агол-агол дијаграм кој претставува графички приказ на односот меѓу аглите во два зглоба (слика 2). Од овој графикон произлегоа следните варијабли на координација:

- Во фаза (in-phase): линеарна (слика 2/1) и пресвртна точка (истовремено зголемување или намалување на аглите на двата зглоба односно сврзана координација) (слика 2/2),
- анти-фаза (anti-phase): линеарна (слика 2/3) и пресвртна точка (слика 2/4) (додека едниот агол се зголемува другиот се намалува односно сврзана координација),
- фазно поместување (plane offset): аголно задоцнување на еден зглоб во однос на друг, (раздвоена односно несврзана координација) (слика 5).



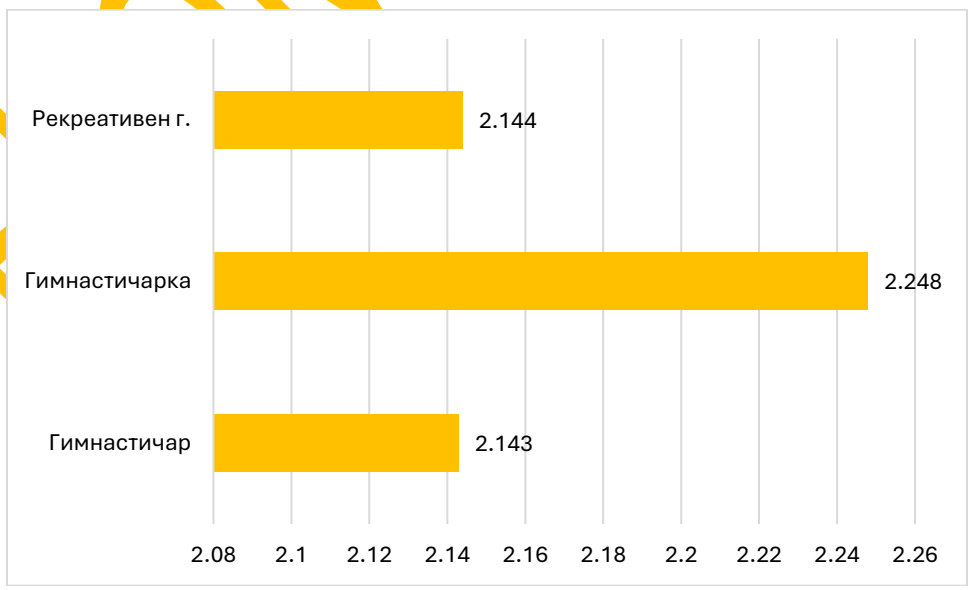
Слика 2. Илустрација на различни видови координација.

5.4. Анализа на податоци

2Д анализата на видео записите од најдобрите изведби беше извршена со софтверот Skill Spector v.1.3.2. На самиот почеток оригиналната снимка од 240 fps софтверот ја конвертира во 80fps за да се озовможи мануелна дигитизација на маркерите. Потоа, за филтрирање на податоците беше користен Батервортовиот филтер со низок пропуст. Оптималната фреквенција од 4 Hz беше определена преку анализата на резидуали според Winter (2009).

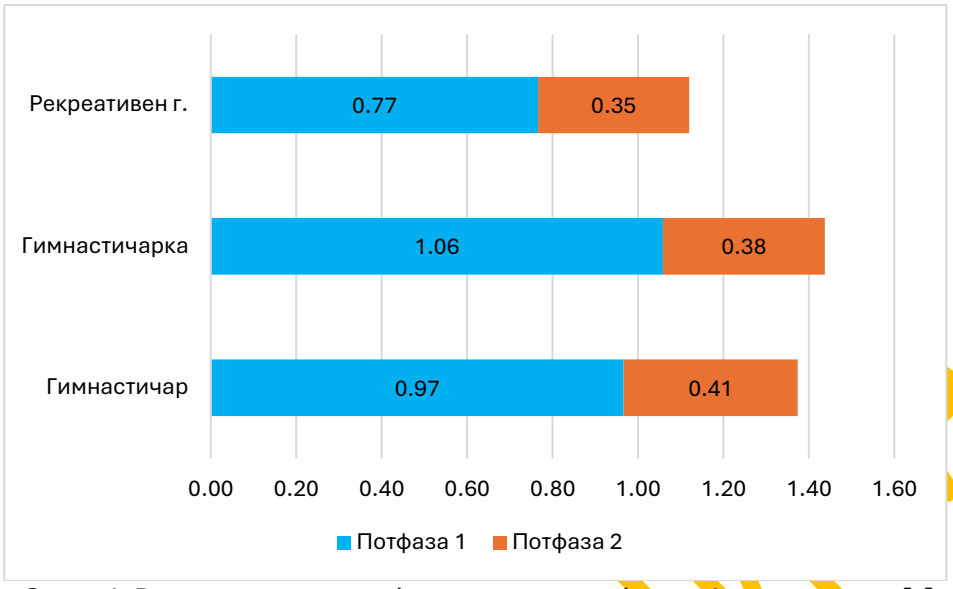
6. РЕЗУЛТАТИ

На графиконите 1-3 се прикажани временските карактеристики на движењето. Најдолго времетраење на изведбата е присутна кај гимнастичарката додека рекреативниот гимнастичар и гимнастичарот натпреварувач имаа идентично времетраење (слика 3). Сепак доколку се земе предвид вкупното времетрање од втората до петтата фаза гимнастичарката и гимнастичарот имаат скоро еднакво времетраење (0.78 s и 0.81 s), а рекреативниот гимнастичар најдолго (1.03 s). Испитаници покажаа разлики во ритамот на движење кај двете потфази на првата фаза (слика 4 и 5). Дополнително, во однос на ритамот на движење воочена е разлика меѓу рекреативниот гимнастичар и другите двајца гимнастичари што се гледа од должината на првата и третата фаза (слика 6 и 7).

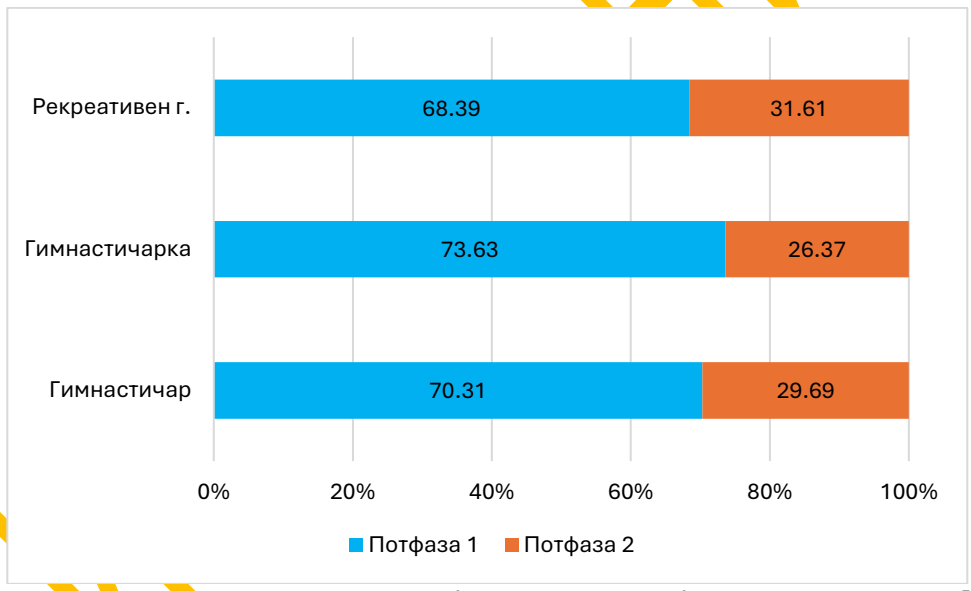


Слика 3. Вкупно времетрање на движењето.

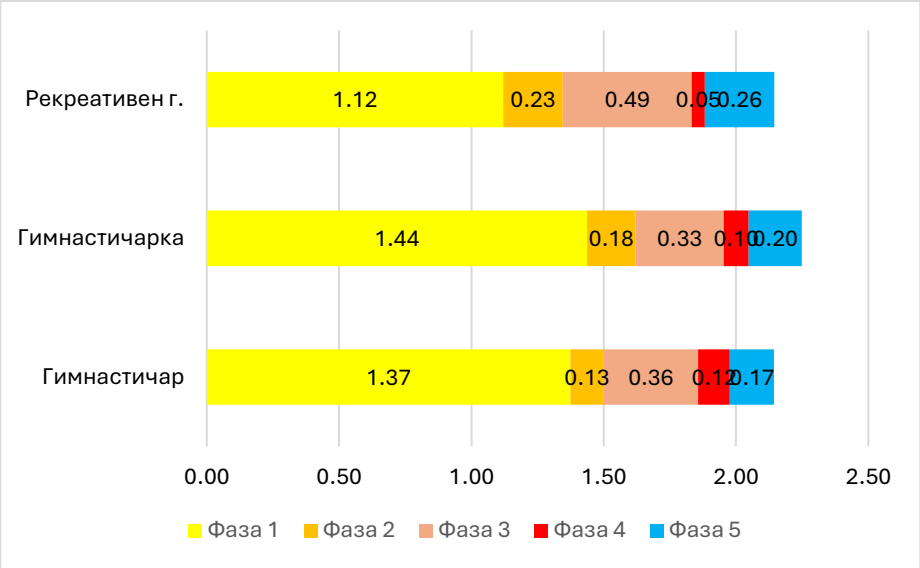
БИОМЕХАНИКА



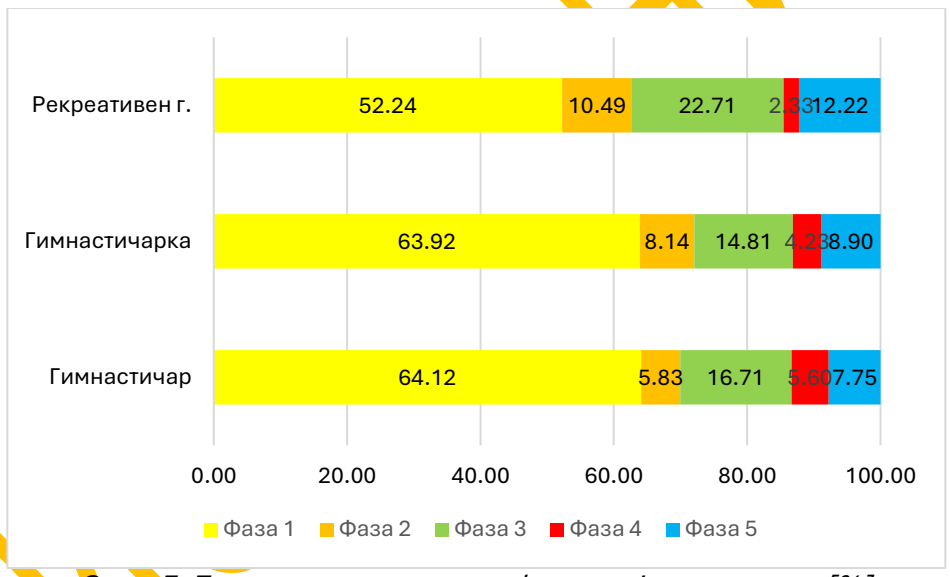
Слика 4. Времетраење на потфазите на првата фаза кај премет назад [s].



Слика 5. Процентуално траење на потфазите на првата фаза кај премет назад [%].



Слика 6. Времетраење на фазите кај премет назад [s].



Слика 7. Процентуално траење на фазите кај премет назад [%].

Резултатите прикажени во табела 1 откриваат компаративни разлики во кинематичките показатели на одразување кај тројцата испитаници. Исто така, разлики беа и во амплитудата на движење во зглобот на рамото, колкот и коленото (табела 2-4).

Табела 1. Кинематички показатели кај одразување.

Показател	Агол на траекторија на т.т. после одраз во фаза 1 [deg]	Брзина на т.т. во момент на одразување во фаза 1 [m/s]	Максимална аголна брзина во зглоб на рамо при замавнување со раце пред одразување во фаза 1 [deg/s]	Аголна брзина во зглоб на колк во момент на одразување во фаза 1 [deg/s]	Аголна брзина во зглоб на колено во момент на одразување во фаза 1 [deg/s]
РЕКСТ	34.4	1.97	776.57	481.98	238.99
ГИМСЧАР	17.2	1.55	876.86	593.75	339.26
ГИМСКА	42.3	1.65	987.74	631.73	445.42

Табела 2. Амплитуда на релативниот агол на рамото во фазите на движењето.

Рамо [deg]	Фаза 1		Фаза 2	Фаза 3	Фаза 4	Фаза 5
	Потфаза 1	Потфаза 2				
РЕКСТ	212 (-39-172.79)	124.78 (-38.11-162.89)	24.48 (168.13-192.61)	52.43 (190.85-138.42)	15.15 (133.18-118.03)	34.91 (145.95-111.04)
ГИМСЧАР	233.87 (-55.94-177.93)	234.78 (-55.03-179.75)	24.57 (184.30-208.87)	51.87 (153.36-205.23)	60.97 (90.57-151.54)	/
ГИМСКА	245.01 (-91.11-153.90)	235.41 (-89.63-145.78)	36.94 (152.42-189.36)	44.59 (139.74-184.33)	36.68 (99.46-136.14)	61.85 (28.98-90.83)

Табела 3. Амплитуда на релативниот агол на колкот во фазите на движењето.

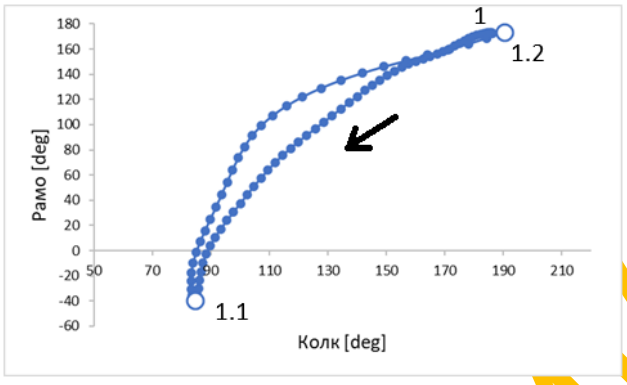
Колк [deg]	Фаза 1		Фаза 2	Фаза 3	Фаза 4	Фаза 5
	Потфаза 1	Потфаза 2				
РЕКСТ	101.84 (84.42-186.26)	97.98 (85.38-183.86)	27.86 (191.55-219.41)	146.05 (70.48-216.53)	1.92 (70-71.92)	76.38 (75.29-151.67)
ГИМСЧАР	109.45 (81-190.45)	119.76 (78.62-198.38)	30.14 (204.33-234.47)	114.21 (121.84-236.05)	20.42 (88.14-108.56)	51.95 (94.48-146.43)
ГИМСКА	64.31 (127.91-192.22)	76.25 (124.83-201.08)	36.2 (209.94-246.14)	135.17 (109.43-244.60)	10.01 (94.41-104.42)	64.31 (99.03-163.34)

Табела 4. Амплитуда на релативниот агол на коленото во на движењето.

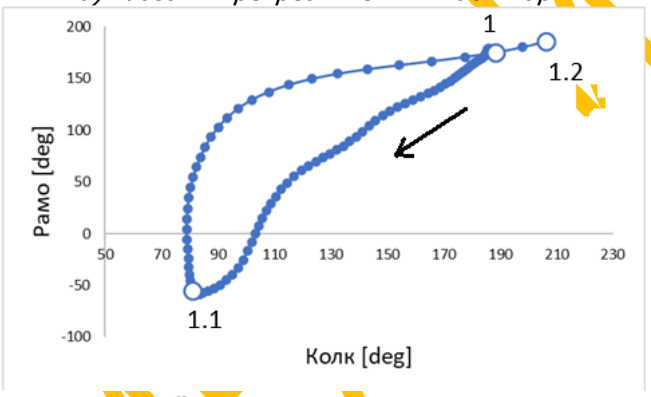
Колено [deg]	Фаза 1		Фаза 2	Фаза 3	Фаза 4	Фаза 5
	Потфаза 1	Потфаза 2				
РЕКСТ	86.87 (83.72-170.59)	46.78 (82.48-129.26)	26.73 (106.24-132.97)	65.09 (104.26-169.35)	7.18 (161.68-168.86)	15.84 (157.97-173.81)
ГИМСЧАР	28.86 (147.81-176.67)	13.63 (133.50-147.13)	13.63 (125.32-138.95)	32.5 (126.22-158.72)	13.97 (142.47-156.44)	39.78 (137.59-177.37)
ГИМСКА	28.64 (153.50-182.14)	13.48 (136.41-149.89)	0.24 (141.47-141.71)	29.12 (142.67-171.79)	11.79 (160.48-172.27)	26.48 (157.35-183.82)

БИОМЕХАНИКА

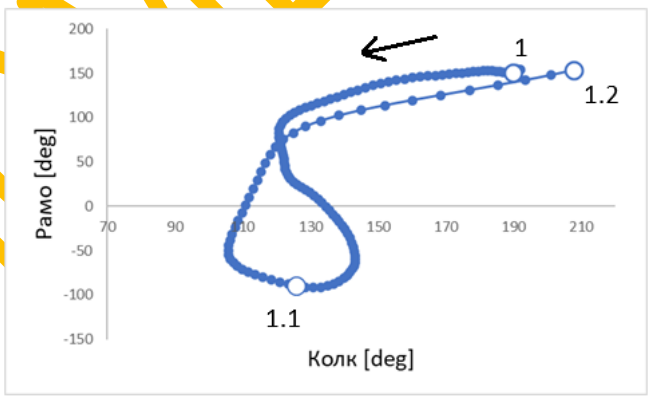
За визуализација на меѓузглобната координација на рамото, колкот и коленото резултатите се претставени во агол-агол дијаграм (слика 8-11).



а). Фаза 1 – рекреативен гимнастичар.



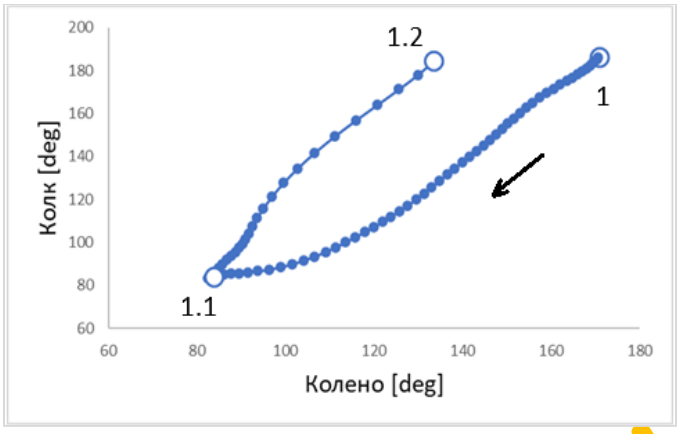
б). Фаза 1 – гимнастичар.



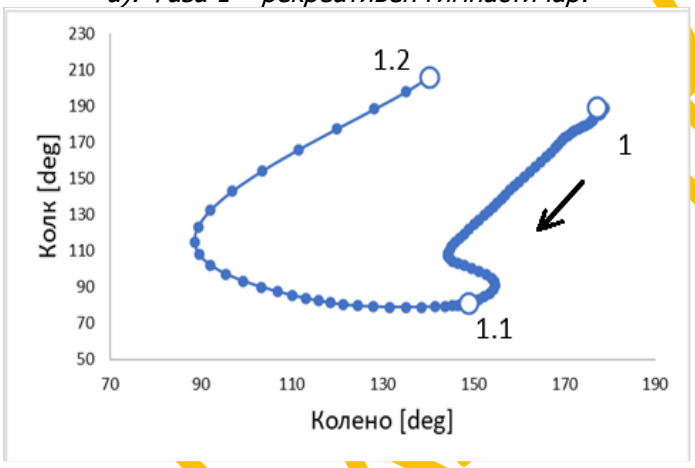
в). Фаза 1 – гимнастичарка.

Слика 8. Координација меѓу зглоб на рамо и зглоб на колк при премет назад на партер кај испитаниците во фаза 1.

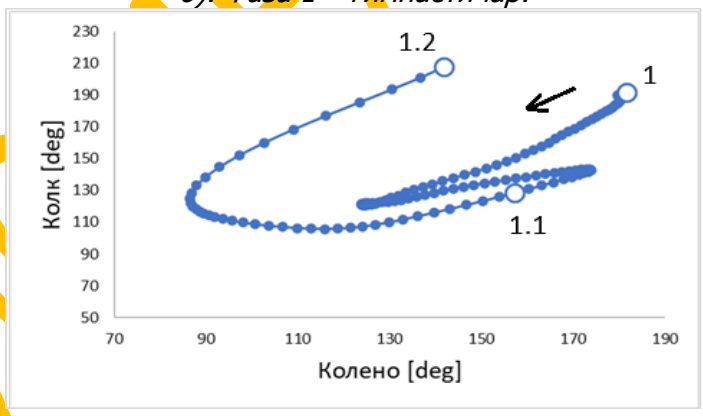
БИБЛИОТЕКА



а). Фаза 1 – рекреативен гимнастичар.



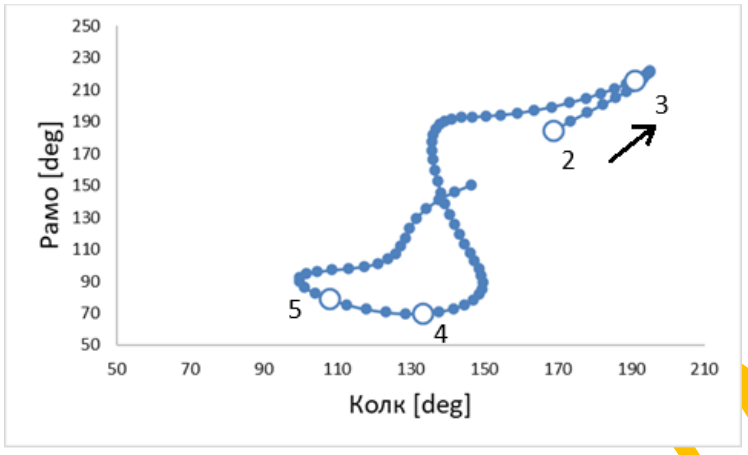
б). Фаза 1 – гимнастичар.



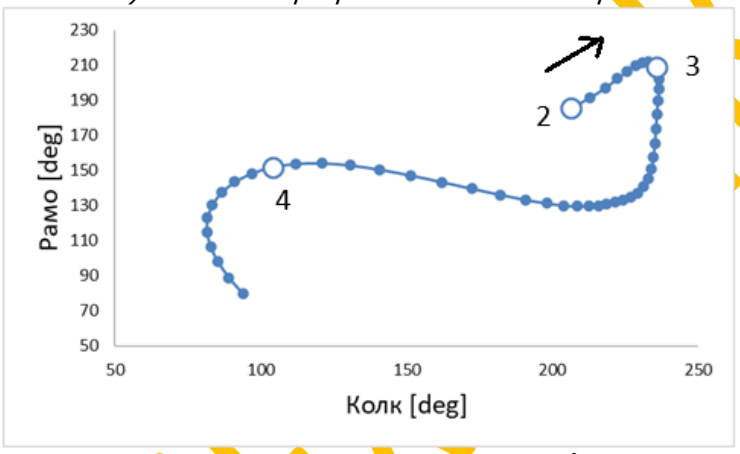
в). Фаза 1 – гимнастичарка.

Слика 9. Координација меѓу зглоб на колк и зглоб на колено при премет назад на партер кај испитаниците во фаза 1.

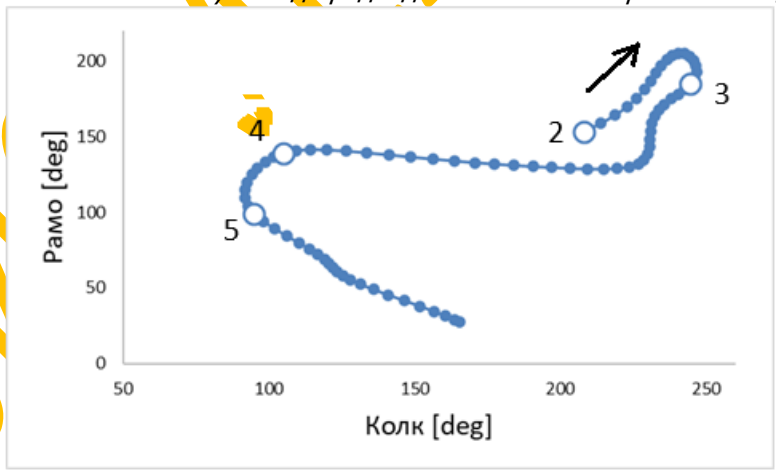
БИС ПЛА



а). Фаза 2-5 – рекреативен гимнастичар.

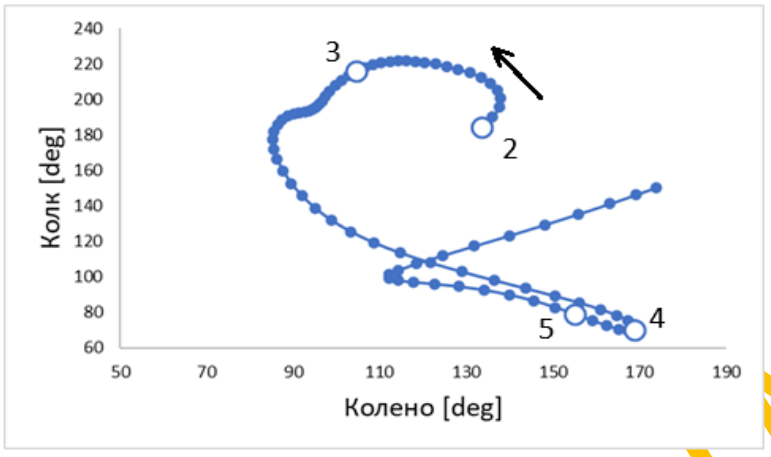


б). Фаза 2-4 – гимнастичар (фазата 5 не е прикажана бидејќи движењето на рацете при одразот значително отстапуваа од предвидената сагитална рамнина на движење)

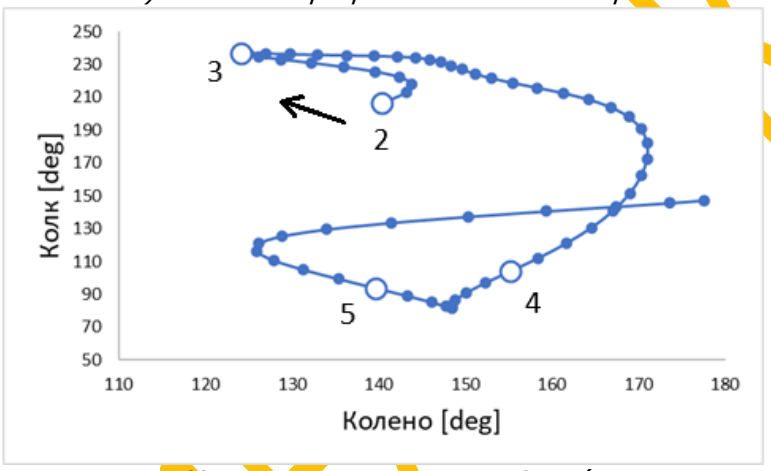


в). Фаза 2-5 – гимнастичарка

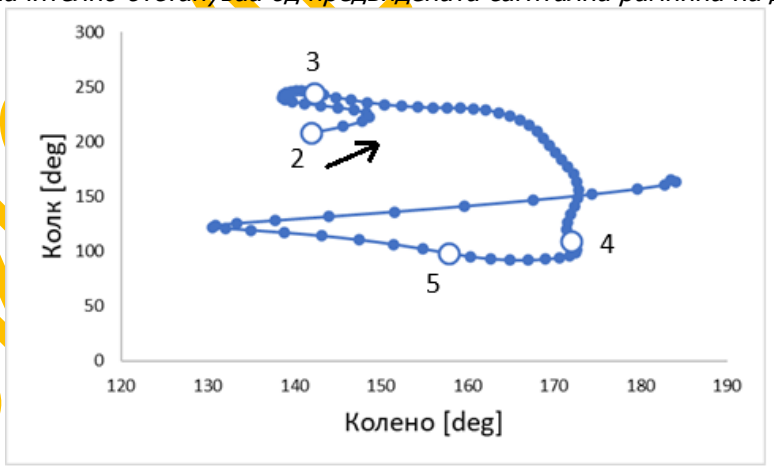
Слика 10. Координација меѓу зглоб на рамо и зглоб на колк при премет назад на партер кај испитаниците во фаза 1.



а). Фаза 2-5 – рекреативен гимнастичар.



б). Фаза 2-4 – гимнастичар (фазата 5 не е прикажана бидејќи движењето на рацете при одразот значително отстапуваа од предвидената сагитална рамнина на движење).



в). Фаза 2-5 – гимнастичарка

Слика 11. Координација меѓу зглоб на колк и зглоб на колено при премет назад на партер кај испитаниците во фаза 1.

7. ДИСКУСИЈА

Во истражувањето беше извршена компарација на определени кинематички показатели и анализа на меѓузглобната координација при изведба на премет назад кај испитаници со различно ниво на перформанса.

Добиените резултати од временските показатели откриja изразени компаративни разлики во првата и четвртата фаза меѓу испитаниците, каде што рекреативниот гимнастичар остварил најкусо времетраење. Брзиот премин од ексцентричен во концентричен режим на мускулно дејство кој се одликува со акумулација на еластична енергија во мускулите и тетивите, проследен со замав на рацете како додаток на отскочниот импулс се главни карактеристики на првата фаза. Вкупното времетраење на фазите 2-5 беше многу слично со резултатите на Omorczyk et al. 2012 на врвни гимнастичари на 19.5 годишна возраст од Полска (0.796 s, гимнастичар: 0.81 s и гимнастичарка: 0.78 s). Друга компаративна разлика произлезе од ритамот на движењето каде полските гимнастичари остварile подолго времетраење на втората и четвртата фаза а пократко на третата и петтата фаза за кои е карактеристично манифестирањето на висок степен на реактивна сила. Вкупното времетраење на првите четири фази на гимнастичарот е идентично со резултати од студијата на Huang & Hsu, 2009. Гимнастичарите од оваа студија во однос на гимнастичарот од ова истражување забележале значително пократко времетраење на втората потфаза од фаза 1, која се карактеризира со експлозивно концентрично дејство на мускулите на колкот и коленото.

Анализата на аголната кинематика во зглобот на рамото откри разлики кај испитаниците, при што најизразена разлика беше во втората потфаза од првата фаза каде рекреативниот гимнастичар покажа најниски вредности. Токму замавот со рацете претставува еден од најважните сегменти во изведбата кој го надополнува отскочниот импулс генерирајќи вртлив момент неопходен за ротација на телото во посакуваната насока.

Во однос на амплитудата во колкот најголеми разлики се регистрирани во првата потфаза од првата фаза каде гимнастичарката забележала значително помала амплитуда на флексија во однос на останатите испитаници. Во четвртата фаза најмала амплитуда во однос на останатите испитаници е регистрирана кај рекреативниот гимнастичар што беше и очекувано ако се има предвид значително пораткото времетраење на истата.

Според гимнастичкиот правилник за оценување флексија во зглобот на коленото во фазата 2 и 4 се истакнува како грешка во изведбата. Имајќи го ова предвид, информациите за аголната кинематика во коленото претставуваат важен показател во проценатa на нивото на техничка изведба на елементот. Иако не очекувано,

БИОМЕХАНИКА

сепак, резултатите откриja дека флексијата во колената не е карактеристична само за гимнастичарите од пониска класа како што е тоа рекреативниот гимнастичар туку таа беше застапена и кај другите двајца гимнастичари натпреаварувачи. Ваквиот наод е во линија со резултатите на Ambroży et al. 2010 кои анализирале напредни гимнастичари кај кои регистрирале флексија во колената уште на самиот почеток на летот во втората фаза.

Понатаму, најизразена разлика во амплитудата на флексија беше присутна во третата фаза каде рекреативниот гимнастичар беше принуден да изврши флексија во колената за да го намали моментот на инерција на телото со што ќе ја зголеми брзината на ротација. Интересен е наодот дека во фазите на лет (2 и 4) гимнастичарката забележа пониски амплитуди на флексија во однос на гимнастичарот која беше значително пониска во фазата 2.

Фазата на одразување а особено моментот на одвојување на стапалата од подот претставува еден од клучните фактори за успешно изведување на елементот. Аголот на траекторијата на тежиштето на телото и брзината на тежиштето на телото во моментот на одраз во првата фаза ја одредува висината и должината на летот што пак влијае на ротацијата на телото. Помалиот агол на одразување и поголемата хоризонтална брзина се карактеристични за елитните гимнастичари (Omorczyk et al. 2017). Од тројцата испитаници најголем агол на траекторијата на тежиштето на телото беше забележан кај гимнастичарката а најмал кај гимнастичарот. Највисока линеарна брзина на тежиштето на телото при одразување достигна рекреативниот гимнастичари, што беше и очекувано ако се имаат предвид поголемите телесни (лонгитудинални) димензии во однос на останатите испитаници. Спротивно, кај овој испитаник беа забележани најниски вредности во показателите од аголната кинаматика, каде гимнастичарката оствари компаративна предност во однос на другите испитаници при што најизразена разлика беше воочена во максималната аголна брзина во зглобот на рамо при замавнување со раце пред одразување во фаза 1. Резултатите од гимнастичарот се слични со резултатите за аголната брзина во зглобот на колкот кај врвен гимнастичар со 13 годишно искуство (-580 deg/s) и аголната брзина во колената (366 deg/s) кај врвен гимнастичар со 18 годишно искуство кои биле анализирани од Omorczyk et al. 2017. Исто така, овие гимнастичари компаративна предност остварile и во брзина на тежиштето на телото во момент на одразување во фаза 1.

Квалитативната анализа на меѓузглобната координација преку агол-агол дијаграм откри тополошка нееквивалентност на кривите кај испитаниците, што укажа на присуство на разлики во координацијата. Исто така, како потврда на оваа констатација беа и наодите за различниот број на промени и насоката на промените во координацијата на зглобовите.

Во однос на рамо-колк координација во првата фаза на самиот почеток од потфаза 1.1 забележана беше in-phase (сврзана) координација што се гледа од истовременото намалување на аголот во рамото и колкот кај испитаниците, која кај

БИОМЕХАНИКА

рекреативниот гимнастичар и гимнастичарот натпреварувач траеше до крајот на оваа потфаза, што не беше случај и со гимнастичарката поради дополнителната концентрично-ексцентрична фаза во мускулите на долните екстремитети. Спротивно, на почетокот на втората потфаза регистрирана беше различна координација меѓу испитаниците. Кај рекреативниот гимнастичар присутна беше in-phase координација која се карактеризира со истовремено зголемување на аголот во рамото и колкот и траеше во текот на целата потфаза. Вертикалната траекторија на кривата кај гимнастичарот откри период на несврзана координација каде единствено поместување оствари рамото, а дури потоа беше заебележана in-phase координација се до завршување на потфаза 1.2. Кај гимнастичарката најпрво беше присутен краток период на anti-phase координација проследен со период на in-phase координација која траеше до крајот на истата потфаза. Исто така, разлика беше евидентирана и во моментот на достигнување на минимална вредност во зглобот на рамото, која кај рекреативниот гимнастичар и гимнастичарот натпреварувач се случи на крајот од потфазата 1.1 додека кај гимнастичарката подоцна. Генерално гледано, кривата на рекреативниот гимнастичар се одликува со изразена компактност што укажува на поголема кохерентност на зглобот на рамото и зглобот на колкот во првата фаза во однос на останатите испитаници.

In-phase колк-колено координација (истовремено намалување на аголот на двата зглоба) беше регистрирана и на почетокот на потфаза 1.1 која единствено кај рекреативниот гимнастичар продолжи до завршетокот на оваа потфаза. Во понатамошниот тек од движењето (потфаза 1.2) рекреативниот гимнастичар повторно манифестира in-phase координација (истовремено зголемување на аголот на двата зглоба) низ целата потфаза, додека кај гимнастичарот натпреварувач и гимнастичарката беше забележан период на несврзана координација која понатаму премина во in-phase координација (истовремено зголемување на аголот на двата зглоба) до самиот крај на потфазата. Имајќи ја предвид компактноста на кривата од рекреативниот гимнастичар и овде може да се истакне дека тој има поголема кохерентност на зглобот на колкот и коленото во однос на останатите испитаници.

Во целина земено, втората фаза може да се окарактеризира како in-phase рамо-колк координација (истовремено зголемување на аголот на двата зглоба) кај тројцата испитаници, со исклучок на краткиот период на несврзана координација на крајот од оваа фаза кај гимнастичарката. На почеток од третата фаза кај рекреативниот гимнастичар беше присутна in-phase координација (истовремено зголемување на аголот на двата зглоба) која по извесен период премина во anti-phase координација (додека едниот агол се зголемува другиот се намалува). Гимнастичарот и гимнастичарката во оваа фаза демонистрираа сличен образец на движење во кој доминираше несврзаната меѓузглобна координација. Во четвртата фаза повторно овие двајца испитиници исцртаа сличен образец на движење меѓутоа со присутво на фазно поместување односно несврзана координација (аголот на рамото се намалува додека аголот на колкот останува непроменет). Рекреативниот гимнастичар во текот на оваа фаза покажа anti-phase кординација

ВКОПИРАНИКА

(истовремено зголемување на аголот на рамото и намалување на аголот на колкот). Anti-phase координацијата беше присутна во текот на целата петта фаза кај гимнастичарката, додека кај рекреативниот гимнастичар на самиот почеток беше забележан краток период на anti-phase координација која потоа премина во in-phase координација но немаше потполн линеарен тек туку беше проследена со одредени локални закривувања.

Колк-колено координацијата во втората фаза кај рекреативниот гимнастичар се карактеризира со подолг период на несврзана координација, преку значително поместување во аголот на коленото во однос на колкот. На почеток од оваа фаза гимнастичарот и гимнастичарката демонстрираат in-phase координација која потоа преминува во anti-phase координација. Оваа anti-phase координација кај гимнастичарот беше присутна до крајот на втората фаза, додека кај гимнастичарката дополнително беше забележана транзиција од сврзана кон несврзана координација. Третата фаза кај рекреативниот гимнастичар се одликува со почеток на in-phase координација која премина во несврзана координација а после краток период продолжи во anti-phase координација. Слична беше координацијата меѓу гимнастичарот и гимнастичарката во оваа фаза. Конкретно, најпрво беше забележан период на несврзана координација со значителни промени во аголот на коленото, а потоа периоди на anti-phase и in-phase координација со различен интензитет. Значителна разлика беше забележана во четвртата фаза каде рекреативниот гимнастичар покажа anti-phase координација, гимнастичарот период на in-phase и anti-phase координација, додека гимнастичарката забележа несврзана координација. Најголема сличност во колк-колено координацијата се откри во петтата фаза. Тука, преовладуваше anti-phase и in-phase координацијата која кај рекреативниот гимнастичар беше со поизразена кохерентност.

Иако компаративните студии за кинематичките показатели на премет назад се застапени во научната литература, сепак од увидот во литературата произлезе дека ова истражување претставува прв обид за анализа на меѓузглобната координација кај премет назад на партер. Сепак, спроведеното истражување има и одедени ограничувања кои треба да се истакнат. Тие пред се произлегуваат од малиот број на испитаници што ја оневозможува генерализацијата на поголема популација. Исто така, и покрај тоа што анализираното движење се смета за планарно отстуството на 3Д анализа дава ограничен увид во кинематиката на движењето. Дополнителни ограничувања произлегуваат од фактот што сите испитаници не беа снимени во истатата тренинг сесија, така што повторените нагодување на камерата и калибрирање на просторот можат да претставуваат извори на грешка во мерењето. Понатаму, процената на меѓузглобната координација беше извршена само со квалитативна визуализација на агол-агол дијаграмите, меѓутоа за попрецизна и подлабока анализа потребно е да бидат искористени понапредни методи како што се: крос корелациска анализа, фазни рамнини, континуирана релативна фаза, самоорганизирачки мапи, анализа на главни компоненти и др. (Lamb & Bartlett, 2017).

ВО МЕЃУВРЕМЕ

8. ЗАКЛУЧОК

Врз основа на обработените резултати и добиените резултати можат да се извлечат следните заклучоци:

1. Примерокот на испитаници манифестираше изразена разлика во кинематичките показатели во однос на други испитаници меѓу кои и врвни гимнастичари кои биле предмет на истражување на други автори. Оттука, хипотезата Х1 се прифаќа во целост.
2. Компаративни разлики во кинематичкте показатели беа забележани и меѓу трите испитаници со различно ниво на физичка перформанса. Според тоа, хипотезата Х2 се прифаќа во целост.
3. Анализата на координацијата преку временската и просторната поврзаност на движењето во зглобовите во најголем степен ја потврди индивидуалната природа на координациските обрасци на движење. Поради тоа, хипотезата Х3 се прифаќа во целост.

Од практична гледна точка, персонализираниот пристап во анализата на кинематичките карактеристики и меѓузглобната координација обезбедува информации кои се неопходни за безбедно и технички префинето движење. Ваквите информации влијаат на подобрување на перформансата и го скратуваат времето на учење, бидејќи овозможуваат навремено откривање на недостатоците во изведбата и ефикасно планирање и реализирање на тренажните содржини.

БИОМЕХАНИКА

9. ЛИТЕРАТУРА

Ambroży T., Chwała W., Ambroży D., & Latinek K. (2010). Three-dimensional analysis as an example of an objective assessment system of the technique in gymnastics, on the basis of the back handspring. In T. Ambroży, D. Ambroży (eds.), Traditional and modern forms of dance and gymnastics from the perspective of physical culture (pp. 240-256). Kraków: AWF.

Bullock, S.G., Schmitt, C.A., Shutt, M.J., Cook, G., & Butler, J.R. (2017). Kinematic and kinetic variables differ between kettlebell swing styles. *Int J Sports Phys Ther*. 2017 Jun; 12(3): 324–332.

Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement* (4th ed.). John Wiley & Sons.

Lamb, P. F., & Bartlett, R. M. (2017). Assessing movement coordination. In D. A. Elliott & D. R. Byrne (Eds.), Biomechanical evaluation of movement in sport and exercise (2nd ed). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203095546-3

Lovecchio, N., Grassi, G., Shirai, Y. F., Galante, D., Grandi, G., Ferrario, V. F., & Sforza, C. (2013). Kinematics of key technique variables in the backward handsprings of elite gymnasts. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 19(4), 292-296.

Omorczyk, J., Nosiadek, L., Staszkiewicz, R., Bujas, P., & Puszczałowska-Lizis, E. (2017). Comparison of back handspring technique performed by advanced artistic gymnasts – A case study. *Polish Journal of Sport and Tourism, 24*(2), 86–90. https://doi.org/10.1515/pjst-2017-0009

Omorczyk, J., Staszkiewicz, R., & Puszczalowska-Lizis, E. (2022). Kinematic analysis of two ways of performing the back handspring – a case study. *Science of Gymnastics Journal*, *14*(2), 211-223. https://doi.org/10.52165/sgj.14.2.211-223

Penitente, G., Merni, F., & Sands, W. A. (2011). Kinematic analysis of the centre of mass in the back handspring: A case study. *Gym Coach*, 4(1), 1-11.

Semenov, D., Shlyakhtov, V., & Rumyantsev, A. (2021). *Kinematic analysis as the basis for training strategy in gymnastics*. *BIO Web of Conferences, 29*, 01012. https://doi.org/10.1051/bioconf/20212901012

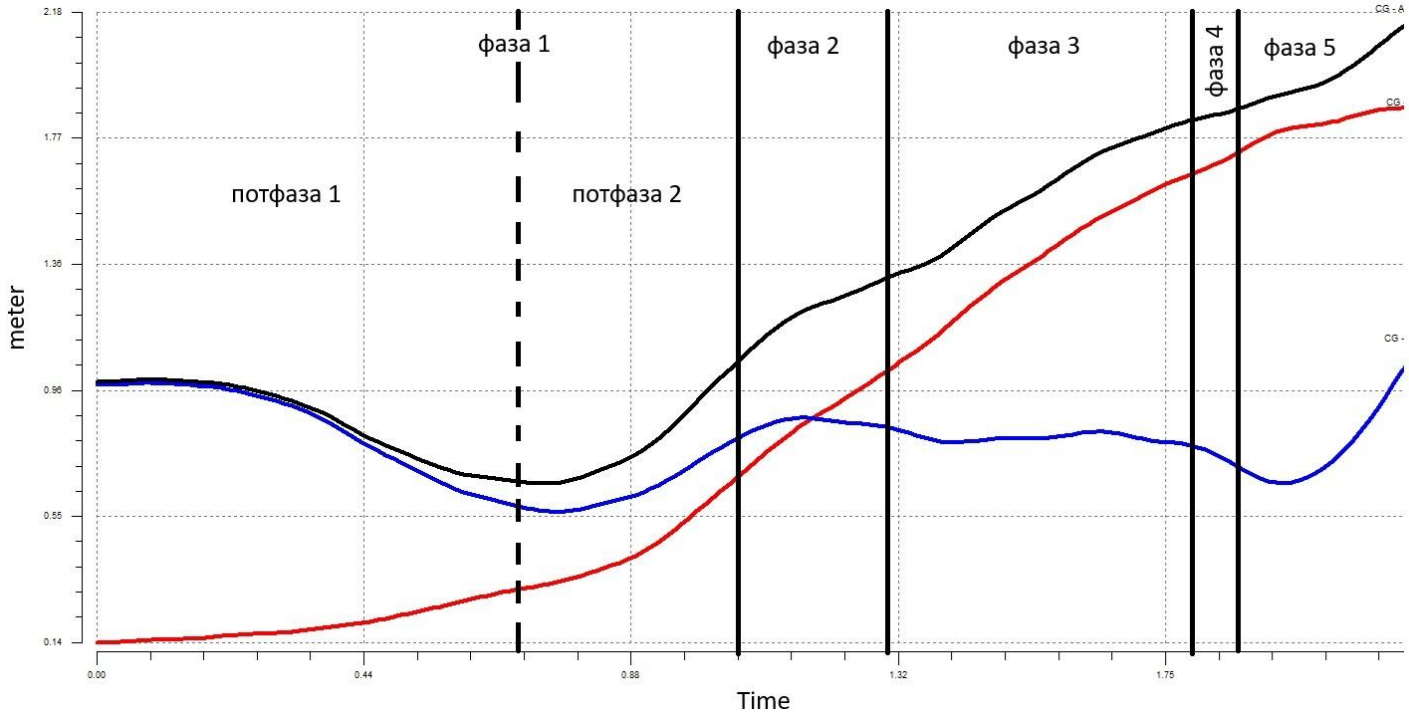
Туфекчиевски, А., & Ацески, А. (2009). *Биомеханика*, второ прошиерено и дополнето издание. Факултете за физичка култура – Скопје.

Huang, C., & Hsu, G.S. (2009). *Biomechanical analysis of gymnastic back handspring*. In *Proceedings of the 27th International Conference on Biomechanics in Sports* (pp. 211-214). ISBS.

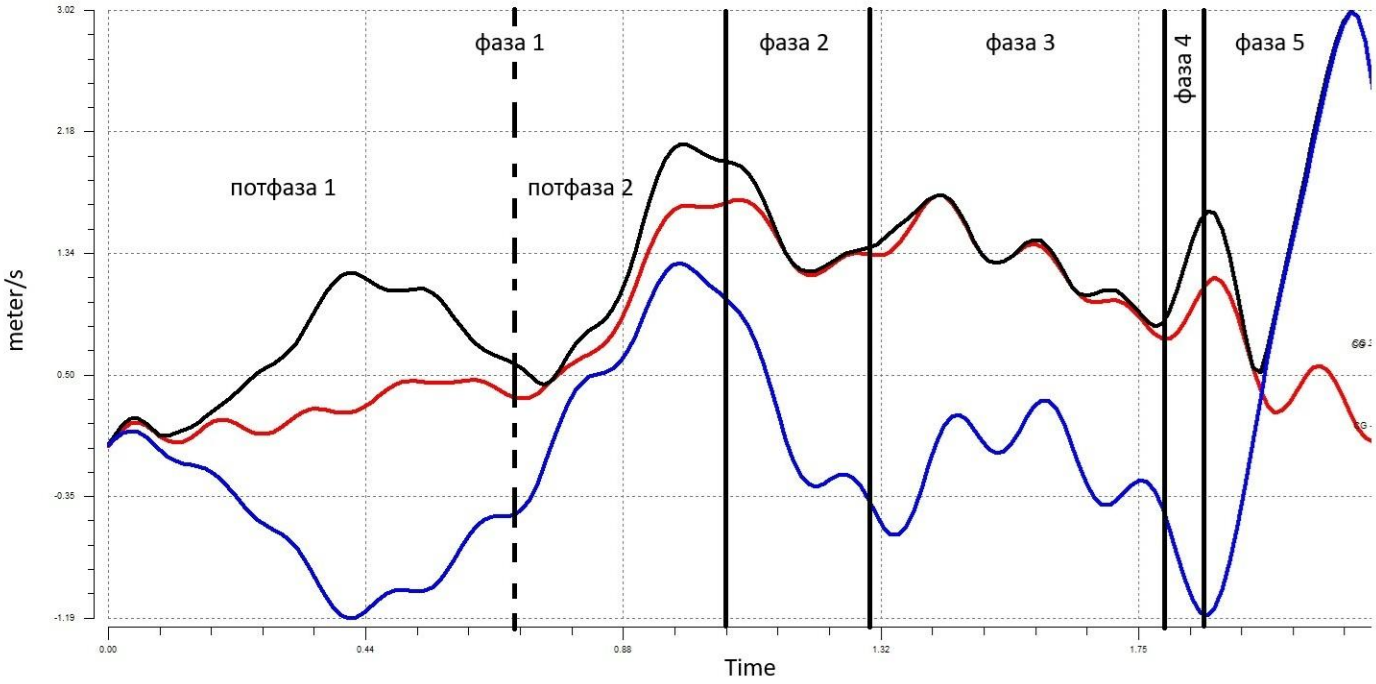
БИОМЕХАНИКА

10. ПРИЛОЗИ

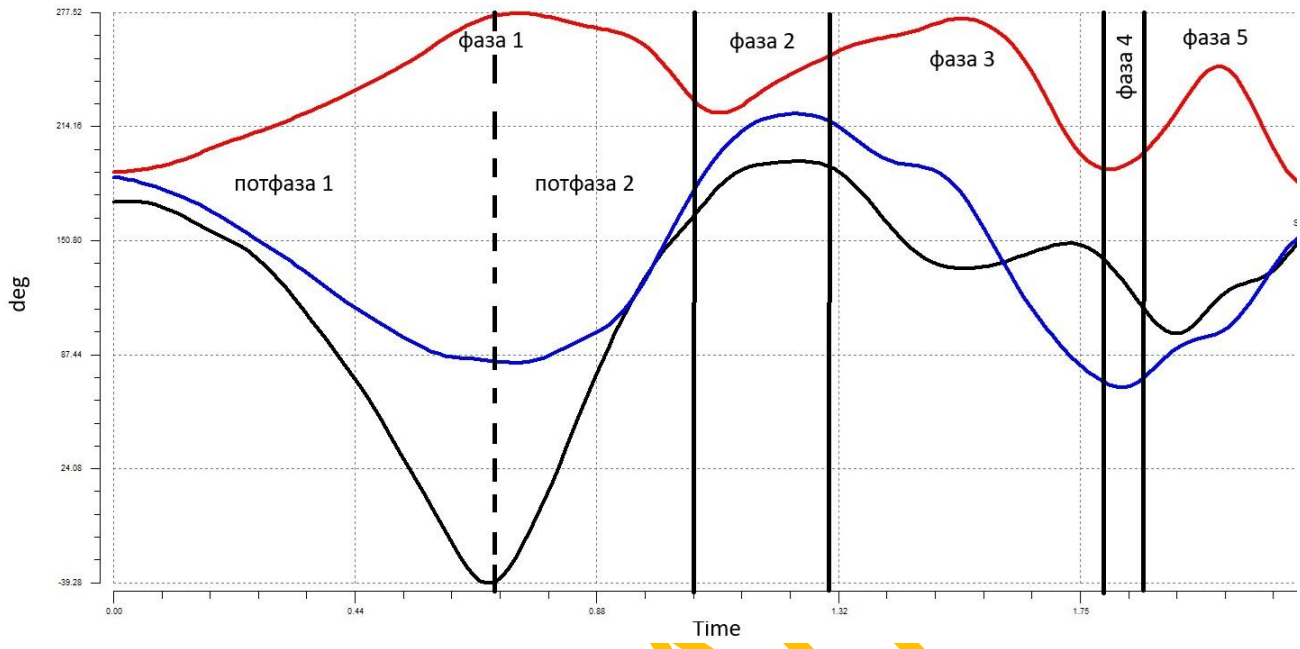
Рекреативен гимнастичар



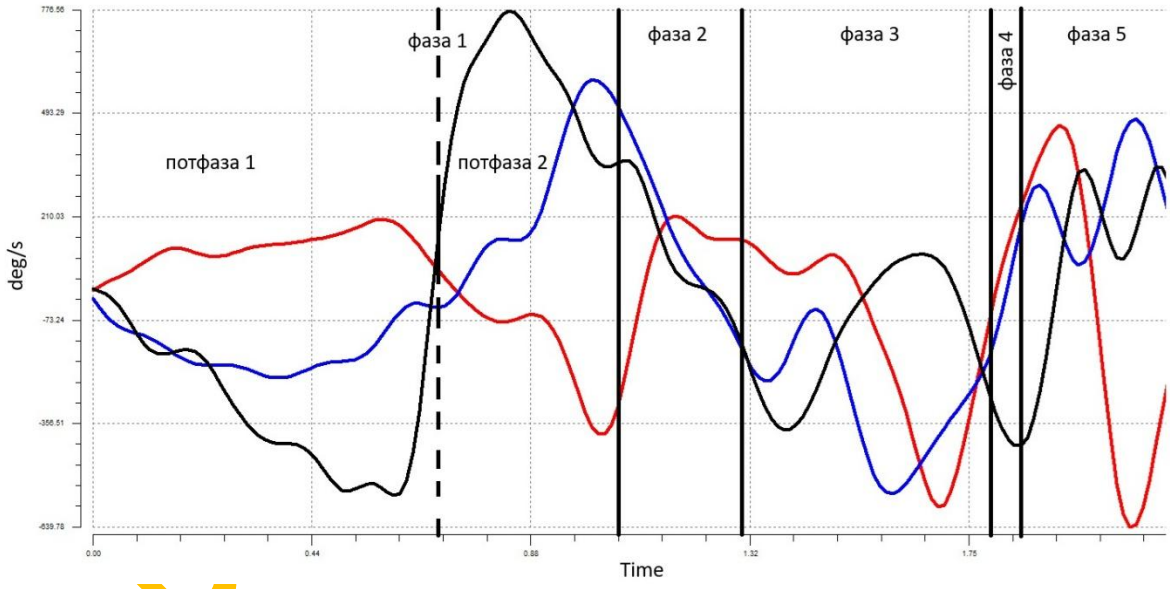
Слика 12. Положба на тежиштето на телото кај рекреативниот гимнастичар (црна – апсолутна положба, црвена – x положба, сина – y положба).



Слика 13. Брзина на тежиштето на телото кај рекреативниот гимнастичар (црна – апсолутна брзина, црвена – x брзина, сина – y брзина).

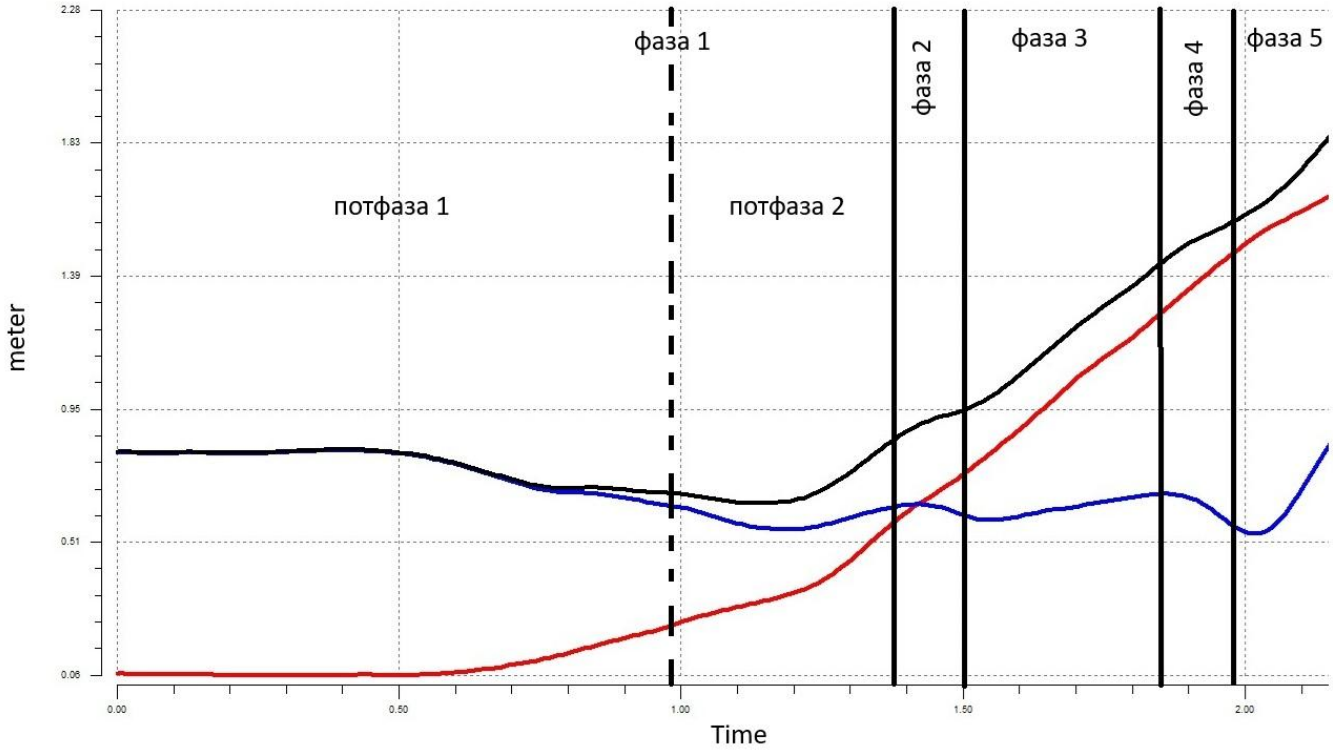


Слика 14. Аголна положба кај рекреативниот гимнастичар (црна - рамо, сина – колк, црвена – колено).

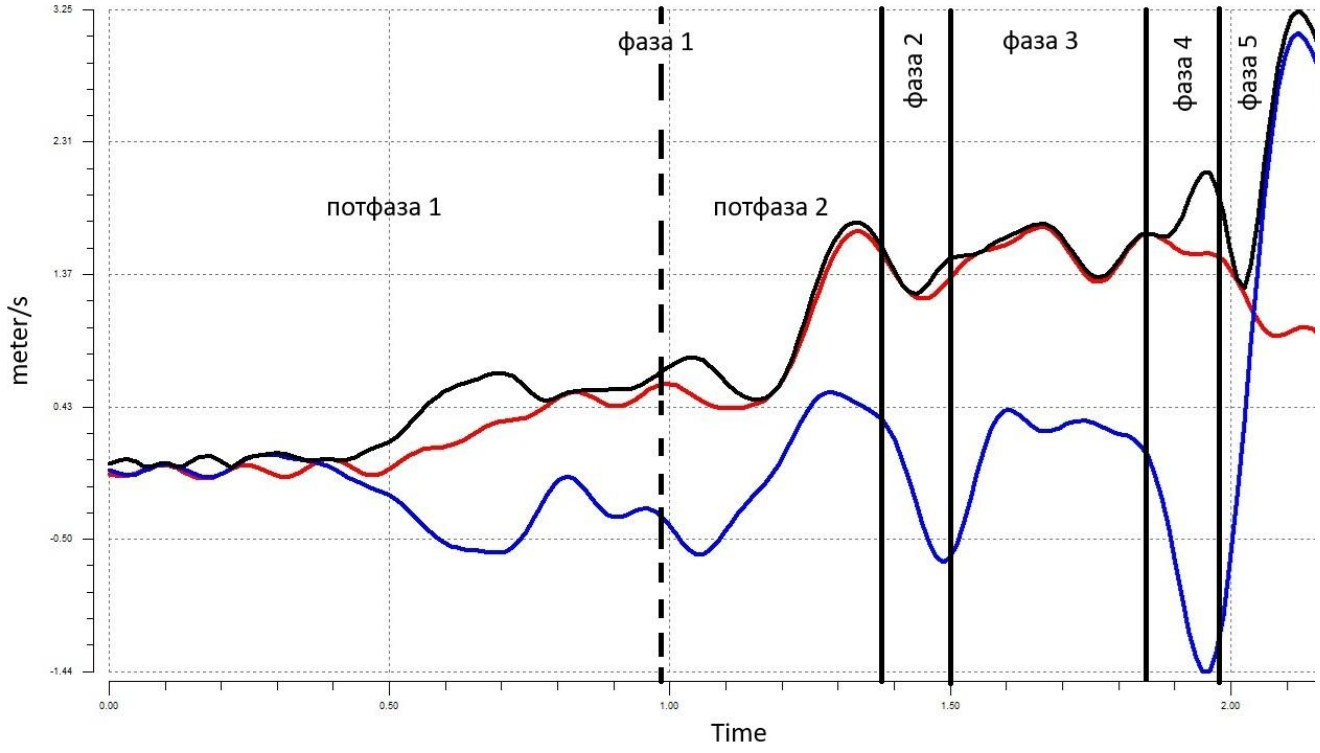


Слика 15. Аголна брзина кај рекреативниот гимнастичар (црна - рамо, сина – колк, црвена – колено).

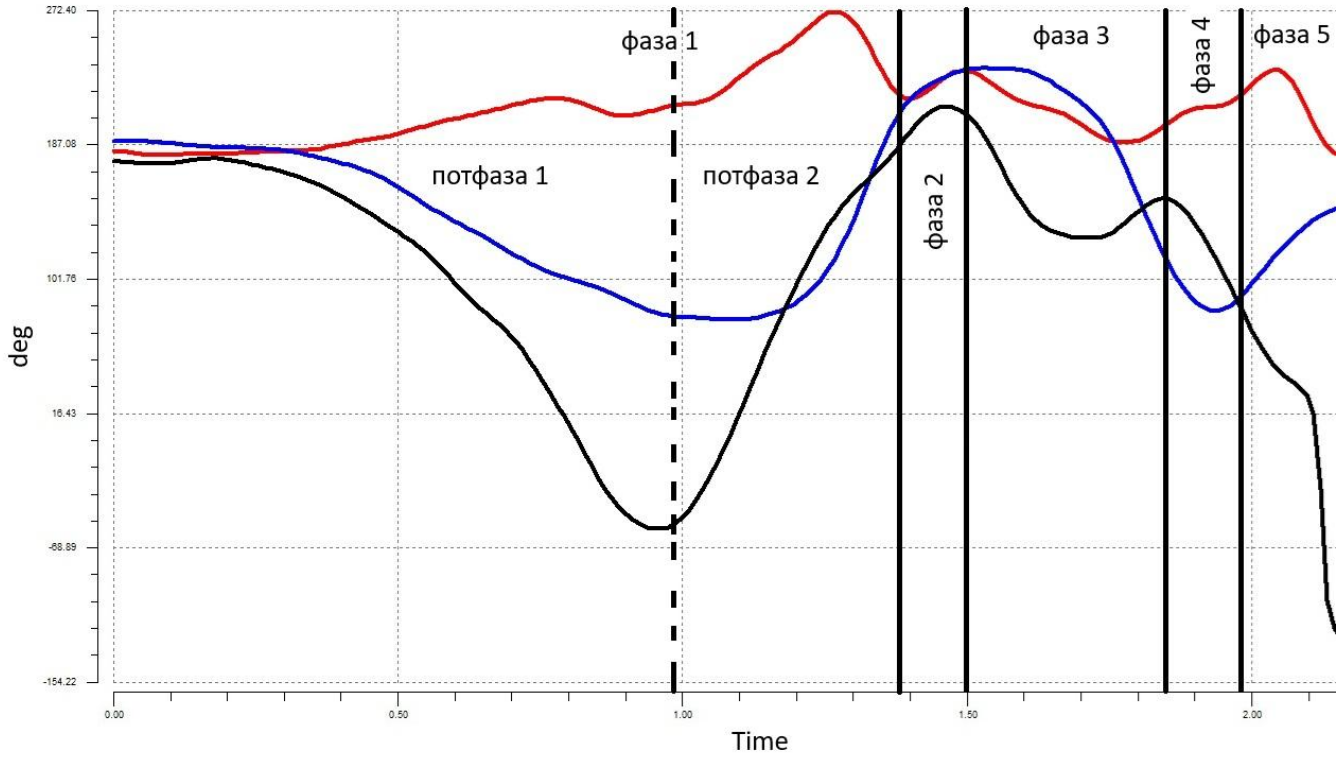
Гимнастичар



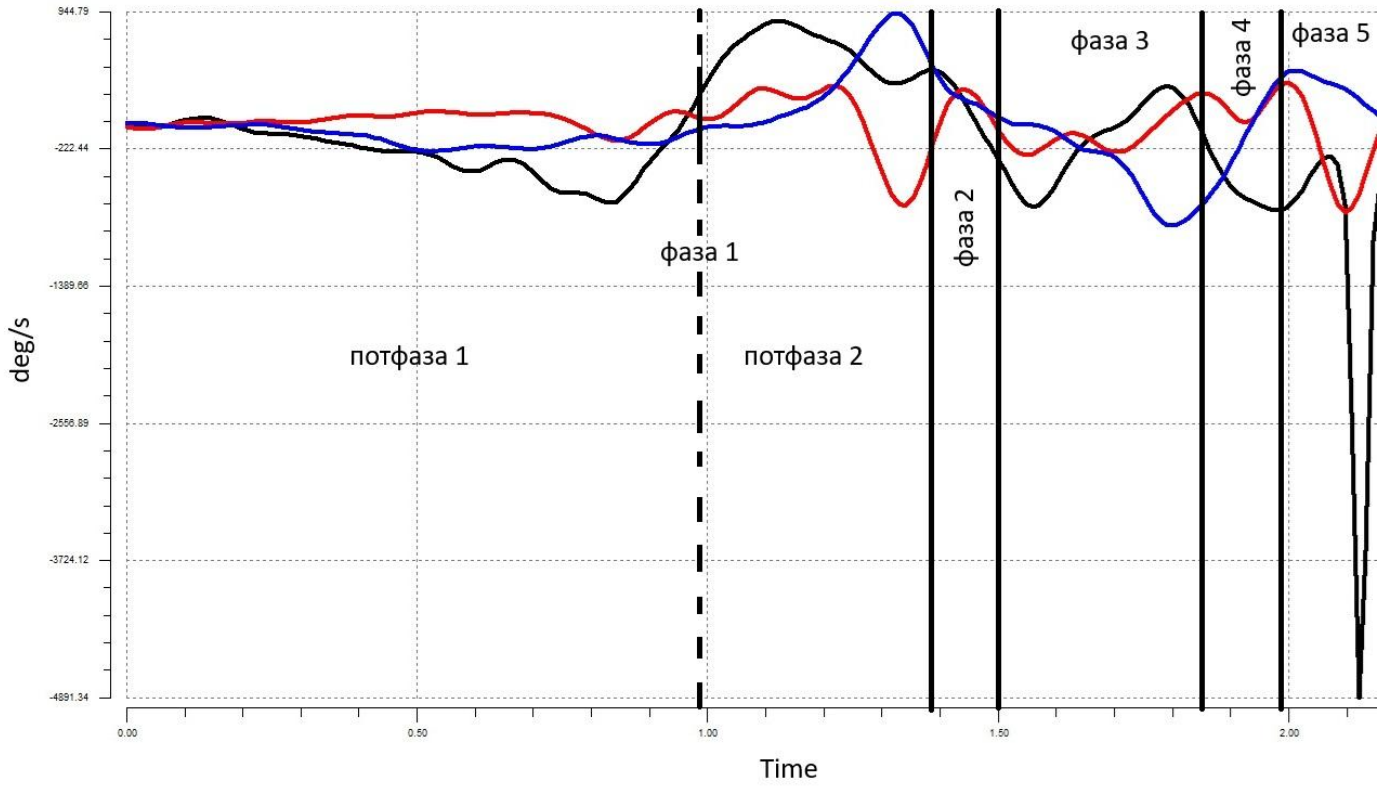
Слика 16. Положба на тежиштето на телото кај гимнастичарот (црна – апсолутна положба, црвена – x положба, сина – y положба).



Слика 17. Брзина на тежиштето на телото кај гимнастичарот (црна – апсолутна брзина, црвена – x брзина, сина – y брзина).

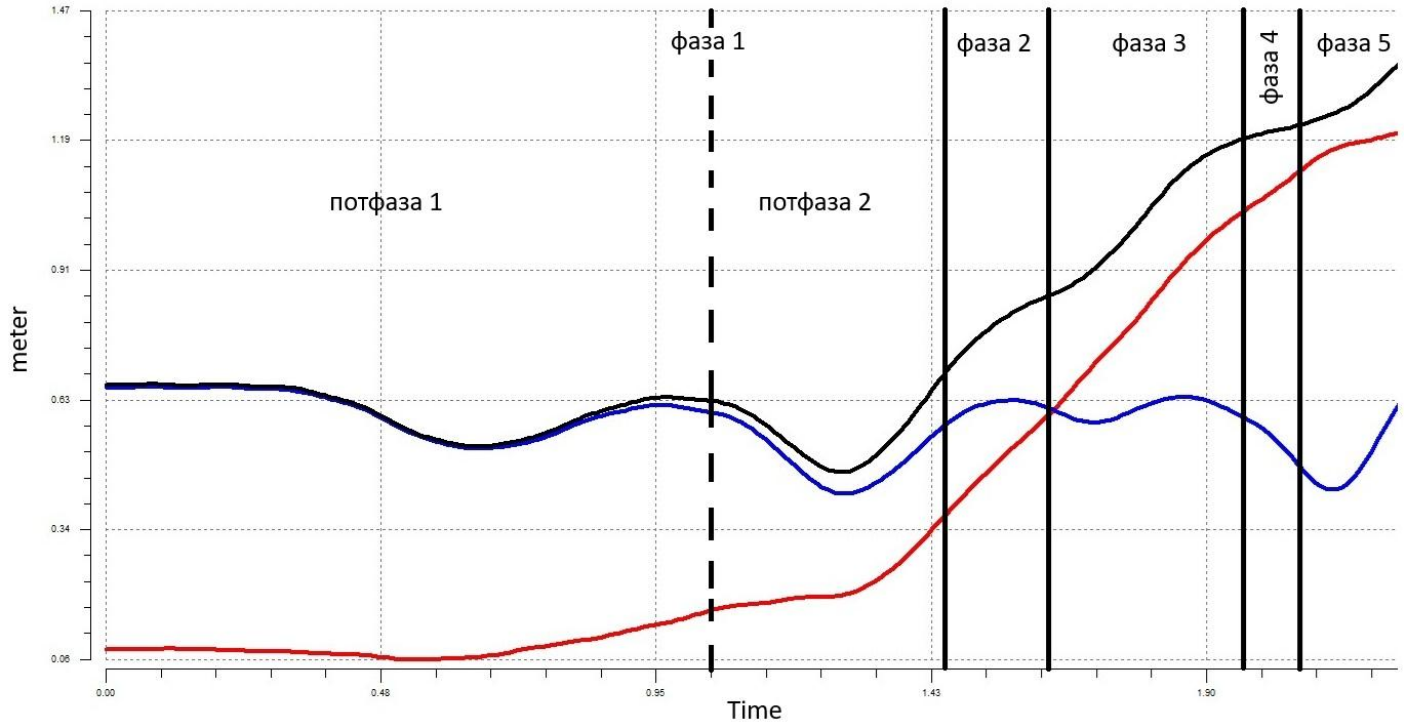


Слика 18. Аголна положба кај гимнастичарот (црна - рамо, сина – колк, црвена – колено).

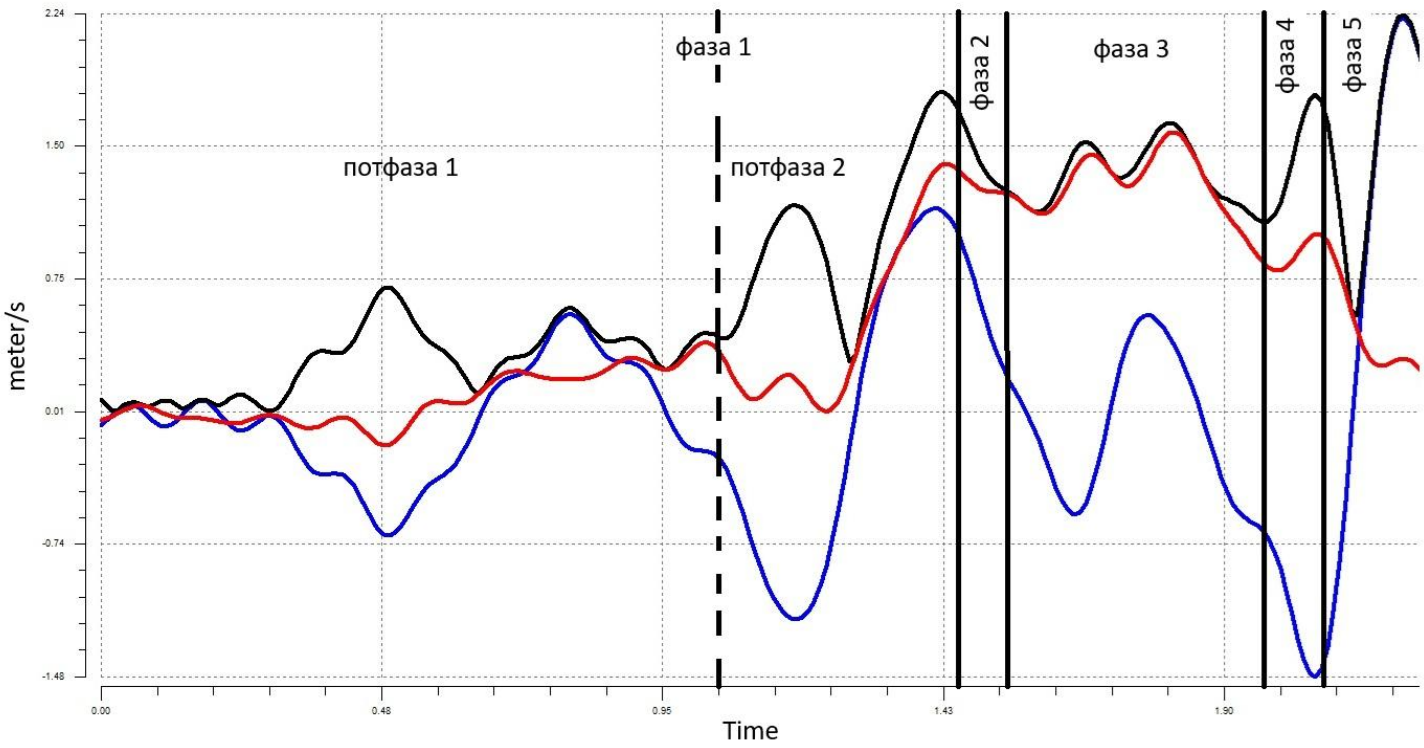


Слика 19. Аголна брзина кај гимнастичарот (црна - рамо, сина – колк, црвена – колено).

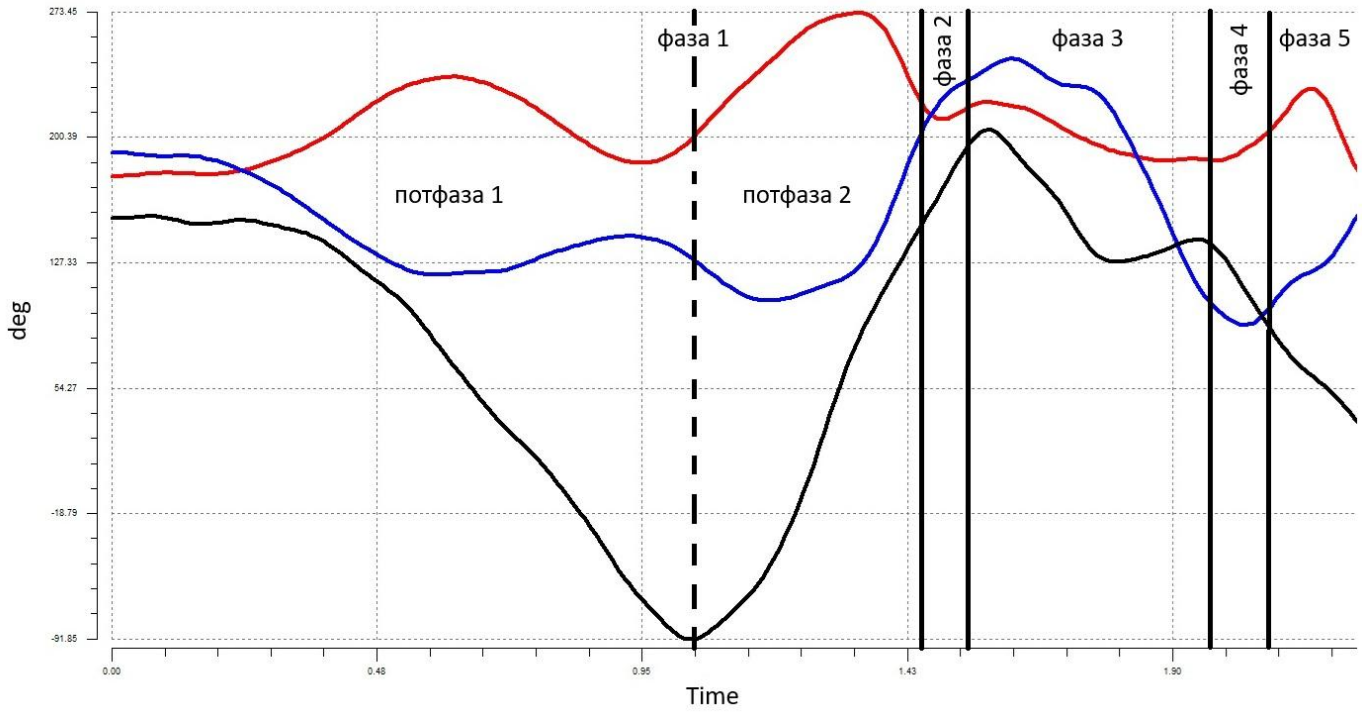
Гимнастичарка



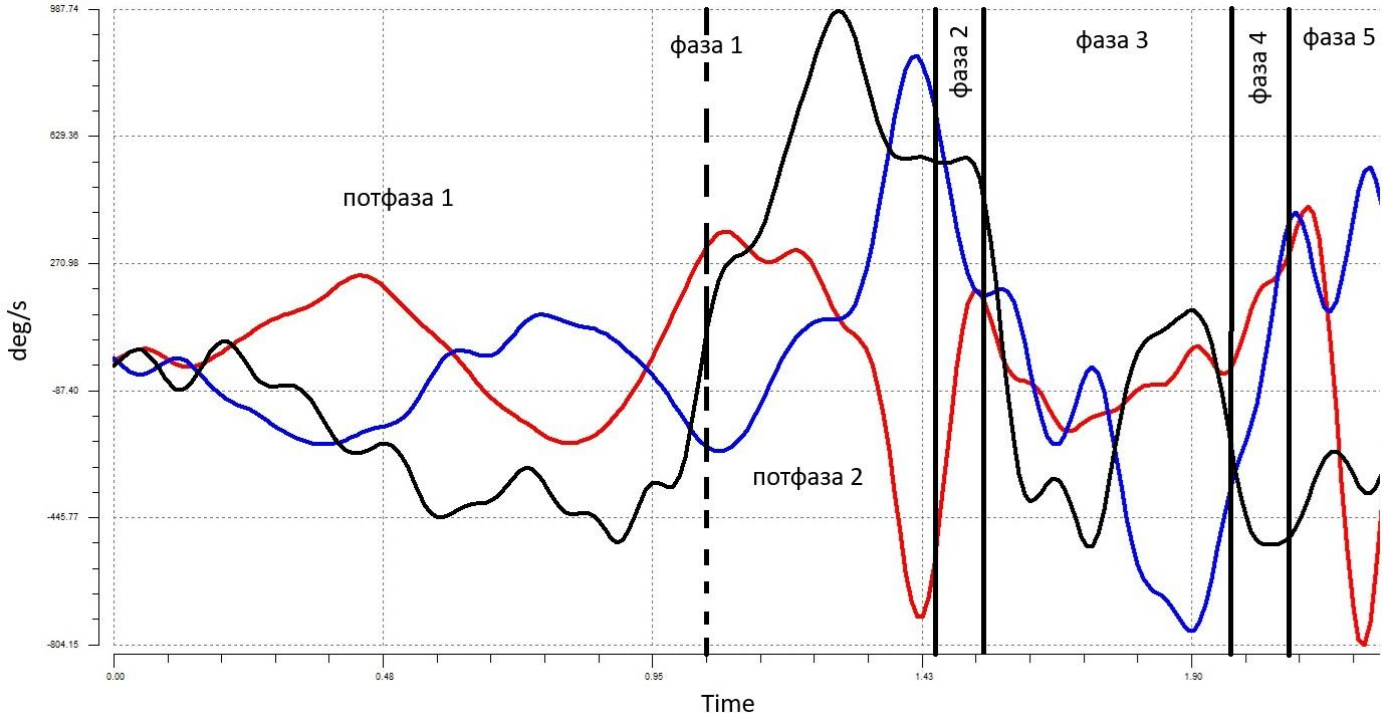
Слика 20. Положба на тежиштето на телото кај гимнастичарката (црна – апсолутна положба, црвена – x положба, сина – y положба).



Слика 21. Брзина на тежиштето на телото кај гимнастичарката (црна – апсолутна брзина, црвена – x брзина, сина – y брзина).



Слика 22. Аголна положба кај гимнастичарката (црна - рамо, сина – колк, црвена – колено).



Слика 23. Аголна брзина кај гимнастичарката (црна - рамо, сина – колк, црвена – колено).