УНИВЕРЗИТЕТ СВ. „КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ – СКОПЈЕ

ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКО ОБРАЗОВАНИЕ, СПОРТ И ЗДРАВЈЕ

ДИПЛОМСКИ ТРУД

Предмет : Биомеханика

КИНЕМАТИЧКИ ПОКАЗАТЕЛИ НА СЛОБОДНО ФРЛАЊЕ ВО КОШАРКА: ПОВРЗАНОСТ И КОМПАРАТИВНИ РАЗЛИКИ МЕЃУ КОШАРКАРИ СО РАЗЛИЧНО НИВО НА ПЕРФОРМАНСА



БИОМЕХАНИКА

Ментор:

Проф. д-р Александар Ацески

Изработил:

Христијан Смоковски
Индекс број: 6862

Скопје, 2025

КИНЕМАТИЧКИ ПОКАЗАТЕЛИ НА СЛОБОДНО ФРЛАЊЕ ВО КОШАРКА: ПОВРЗАНОСТ И КОМПАРАТИВНИ РАЗЛИКИ МЕЃУ КОШАРКАРИ СО РАЗЛИЧНО НИВО НА ПЕРФОРМАНСА

KINEMATIC INDICATORS OF BASKETBALL FREE-THROW SHOOTING: ASSOCIATIONS AND COMPARATIVE DIFFERENCES AMONG PLAYERS WITH DIFFERENT PERFORMANCE LEVELS

БИОМЕХАНИКА

Членови на комисија:

Проф. д-р Александар Ацески – ментор

Проф. д-р Влатко Неделковски – член

Проф. д-р Лука Поповски – член

Датум: 02.09.2025, 09:00 часот

КИНЕМАТИЧКИ ПОКАЗАТЕЛИ НА СЛОБОДНО ФРЛАЊЕ ВО КОШАРКА: ПОВРЗАНОСТ И КОМПАРАТИВНИ РАЗЛИКИ МЕЃУ КОШАРКАРИ СО РАЗЛИЧНО НИВО НА ПЕРФОРМАНСА

АПСТРАКТ

Успешноста на слободните фрлања е фактор кој често пати има клучна улога за исходот на натпреварот.

Главна цел на истражувањето беше да се утврди ефектот на кинематичките показатели во предикцијата на успешноста на шутирање слободно фрлање. Дополнителна цел беше поставена да се изврши компаративна анализа на кинематичките показатели помеѓу кошаркарите од КК ИБА – Скопје и кошаркари кои биле дел од истражувања на други автори.

Примерок на испитаници го сочинуваа 15 кошаркари од машки пол членови на КК ИБА – Скопје кои се натпреваруваат во Македонската лига до 16 години (кадети). За процена на кинематичките показатели анализирани беа 14 варијабли од просторната и временската кинематика на движењето како предикторски сет варијабли и процентот на успешно шутирање слободно фрлање како критериумска варијабла.

За утврдување на влијанието на предикторските варијабли врз критериумската варијабла беше пресметана мултипла линеарна регресивна анализа а за утврдување на компаративните разлики во кинематичките варијабли помеѓу кошаркарите од ова истражување и кошаркари од други истражувања беше пресметан - t тест за еден примерок.

Кај предикторските варијабли највисока корелација е забележана меѓу времетраење на прва фаза (ВВПФ) и вкупно времетрање на движењето (ВВТД), додека највисока поврзаност со критериумскатра варијабла покажа предикторската варијабла амплитуда во зглоб на колено (АМЗКН). Понатаму, предикторскиот сет на варијабли не беше погоден за предикција на успешноста на шутирање слободно фрлање.

Статистички значајна разлика во кинематиката меѓу кошаркарите од ова истражување и кошаркари од други истражување беше забележано во агол на проекција на подлактица во фронтална рамнина по завршеток на првата фаза (ППДФРЗПФ), релативен агол во колената по завршеток на првата фаза (РАКНЗПФ) и релативен агол во рамо по завршеток на втората фаза (РАРМЗВФ).

Резултатите во одредена мера ја потврдуваат важноста на амплитудата во зглобот на колената во изведбата на слободно фрлање во кошарка.

Клучни зборови: кинематика, анализа, кошарка, шутирање, предикција, споредба

БИОМЕХАНИКА

KINEMATIC INDICATORS OF BASKETBALL FREE-THROW SHOOTING: ASSOCIATIONS AND COMPARATIVE DIFFERENCES AMONG PLAYERS WITH DIFFERENT PERFORMANCE LEVELS

ABSTRACT

Free-throw shooting performance is a factor that often plays a decisive role in the outcome of a basketball game.

The primary aim of this study was to determine the effect of kinematic indicators on predicting free-throw shooting success. An additional objective was to conduct a comparative analysis of kinematic parameters between basketball players from KK IBA – Skopje and players included in studies conducted by other authors.

The sample consisted of 15 male basketball players, members of KK IBA – Skopje, competing in the Macedonian U16 League (cadets). For the assessment of kinematic indicators, 14 variables from the spatial and temporal kinematics of movement were analyzed as predictor variables, with the free-throw shooting success rate serving as the criterion variable.

To evaluate the influence of predictor variables on the criterion variable, a multiple linear regression analysis was performed, while a one-sample t-test was used to assess comparative differences in kinematic variables between players from this study and basketball players reported in other research.

Among the predictor variables, the highest correlation was observed between the duration of the first phase (DFP) and the total movement duration (TMD). The predictor variable that demonstrated the strongest relationship with the criterion variable was the amplitude of the knee joint (AKJ). Furthermore, the predictor set of variables was not found to be suitable for predicting free-throw shooting success.

Statistically significant differences in kinematics between the basketball players in this study and those from other research were identified in the projection angle of the forearm in the frontal plane at the end of the first phase (PAFFP), the relative angle of the knee at the end of the first phase (RAKFP), and the relative angle of the shoulder at the end of the second phase (RASSP).

The results, to some extent, confirm the relevance of knee joint amplitude in the execution of the basketball free throw.

Keywords: kinematics, analysis, basketball, shooting, prediction, comparison

БИОМЕХАНИКА

СОДРЖИНА

1. ВОВЕД 6
1. ДОСЕГАШНИ ИСТРАЖУВАЊА 8
2. ПРЕДМЕТ, ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО 10
2.1. Предмет на истражување 10
2.2. Цел на истражувањето 10
2.3. Задачи на истражувањето 10
3. ХИПОТЕЗИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО 10
4. МЕТОД НА РАБОТА 11
4.1. Примерок на испитаници 11
4.2. Процедура на мерење 11
4.3. Примерок на биомеханички варијабли 12
4.4. Статистичка анализа 13
5. РЕЗУЛТАТИ 14
6. ДИСКУСИЈА 19
7. ЗАКЛУЧОК 22
8. ЛИТЕРАТУРА 23

БИОМЕХАНИКА

1. ВОВЕД

Проучувањето на движењето е предизвик за експертите од најразлични области. Клучна улога во таа насока има биомеханиката која како интердисциплинарна наука интегрира повеќе научни гранки како механика, медицина и биологија со цел проучување на движењата на живите суштества вклучително и човекот (Туфекчиевски & Ацески, 2009; Humphrey & O'Rourke, 2015; Knudson, 2021).

Човековиот локомоторен систем претставува организирана целина од коскениот, зглобниот и мускулниот систем како управувани делови и централниот нервен систем како управувачки дел. Овој систем ја овозможува човековата локомоција која е резултат од интеракцијата на мускулната сила со другите надворешни сили (Туфекчиевски 2000). Применетата биомеханиката има за цел да одговори на реални проблеми поврзани со движњето, односно подобрување на перформансите, превенција од повреди, подобрување на алатките кои се користат при физичка активност (реквизити, патики, облека итн.) (Knudson 2021).

Еквивалентно на механиката, и во биомеханиката, статиката и динамиката се јавуваат како основни подрачја на проучување. Статиката го проучува дејството на силите во услови на рамнотежа, односно кога телата се наоѓаат во мирување или се движат со константна брзина, додека динамиката ги проучува движењето на телата со променлива брзина (Туфекчиевски & Ацески 2009). Понатаму динаниката е поделена на кинематика и кинетика. Кинематиката се занимава со опишување на движењата без притоа да води сметка за силите кои се одговорни за тоа движење. Спротивно на ова, кинетиката го проучува ефектот на силите врз движењето.

Движењата од биомеханички аспект можат да се анализираат квалитативно и квантитативно. Квалитативната биомеханичка анализа на движењето поседува ненумерички карактер и претставува професионална вештина која ја користат стручните лица за подобрување на изведбата кај своите клиенти. Таа вклучува систематско набљудување на квалитетот на човечкото движење со цел обезбедување најсоодветна интервенција за подобрување на изведбата (Туфекчиевски & Ацески 2009; Knudson 2021). Најчесто оваа анализа може да се сретне помеѓу коментарите на тренерите, пример: фрлањето беше моќно, брзо истрча, силно ја шутна топката. Квантитативната биомеханичка анализа има нумерички карактер и вклучува мерење на биомеханички показатели преку кинематички и кинетички методи/инструменти кои вклучуваат употреба на компјутер за извршување на обемни нумерички пресметки, така што и кратките движења можат да генерираат голема количина на податоци кои треба да се складираат и нумерички обработат. Изборот на показатели неопходни за квантитативна анализа на движењето ја одредува и методата/инструментот која ќе биде користена за таа цел. Биомехничките методи/инструменти поседуваат широк спектар на применливост. Поголемиот дел од нив можат да се користат во теренски услови, за разлика од оние малку методи/инструменти кои бараат лабораториски услови. Во случаи кога е потребна посеопфатна анализа,

БИОМЕХАНИКА

неопходно е интегрирање на кинематички и кинетички методи/инструменти од кои ќе произлезат податоци за просторните, временските и силовите карактеристики на движењето.

Успешноста на шутирање слободни фрлања претставува значаен фактор кој директно влијае врз исходот на кошаркарскиот натпревар. За оптимизирање на ефикасноста на реализација своја примена имаат и принципите на биомеханиката. Врз основа на податоците во литературата како клучни кинематичи факторите се издвојуваат: брзината на топката во моментот на фрлање, релативна висина на исфрлање, задната ротација, агол на исфрлање и упадниот агол. Синхронизацијата на овие фактори претставува основа за зголемување на ефиктивноста при изведба на слободни фрлања.

Брзината на топката во моментот на исфрлање е детерминирана од генерираната мускулна сила која преку дланките се пренесува врз топката. Според тоа, мускулните сили со кои располага играчот и нивното ангажирање овозможуваат да се обезбеди потребната брзина со сооедветен интензитет и насока со цел да се постигне целта (Hay, 1978).

Релативната висина на исфрлање на топката е уште еден кинематички фактор од важност, имајќи предвид дека нејзиното зголемување доведува до зголемување на веројатноста за успешен шут (Tran & Silverberg (2008). Позитивниот ефект на овој фактор е потврден кај поуспешни шутери за кои е карактеристична поголемата висина на исфрлање на топката (Cabarkapa et al. 2021).

Производ од задната ротација на топката е Магнусовиот ефект кој поради малата брзина на движење на топката може да се занемари. Важноста на задната ротација е дотолку поголема ако се знае дека преку неа се зголемува областа за погодок од табла и областа на контакт со задниот обрач, а исто така големата задна ротација влијае позитивно и во остварување на чисти погодоци (Hamilton & Reinschmidt, 1996).

Аголот на исфрлање и упадниот агол се два меѓусебно зависни показатели. Поголемиот агол на исфрлање истовремено означува и поголем упаден агол а тоа пак овозможува поголема отворена површина на обрачот низ која може да помине топката. Сепак, шутирањето со поголем агол на исфрлање бара поголема мускулна сила за добивање на потребната брзина на исфрлање, што пак предизвикува зголемена маргина на грешка. Во услови на стандрадна висина на исфрлање теоретскиот оптимален агол на исфрлање се движи во распон од 49 до 55 степени (Hay, 1978).

БИОМЕХАНИКА

1. ДОСЕГАШНИ ИСТРАЖУВАЊА

Hamilton & Reinschmidt (1996) користејќи теоретски пристап ги проучувале факторите за успех на слободните фрлања од биомеханички аспект. Дошле до заклучок дека за оптимална траекторија на движењето, потребно е аголот на исфрлање да е приближно 60 степени и брзина од околу 7.3 м/с и во домен на спинови од -2 м/с до +2 м/с.

Chau & Silverberg (2008) ги истражувале оптималните услови на исфрлање на топката кај шутирање слободно фрлање. За таа цел тие извшиле нумерички симулации на слободното фрлање на веќе развиен модел и констатирале дека најоптимални услови за точноста во шутот биле бекспин до 3 Hz, агол на исфрлање од 52 степени во однос на хоризонталата, а сето ова да биде проследено со што поголема висина на исфрлање на топката сметано од подлогата.

Ammar, Chtourou, Abdelkarim, Parish & Hoekelmann (2015) спровеле истражување на 10 студенти/кошаркари кои активно се натпреварувале во универзитетска лига, за истото се користел SIMI-Motion системот во кој била интегрирана камера со брзина од 200 Hz. Аголот во коленото покажал висока корелација ($p<0.05$) со успешноста при слободно фрлање.

Ogawa, Hoshino, Fujiwara & Hiro (2019) ја истражувале поврзаноста помеѓу прецизноста на слободното фрлање и некои кинематички варијабли кај 16 студентки кои играле кошарка на универзитетско ниво. Заклучиле дека испитаниците со висока прецизност покажале пократко и поконзистетно времетраење на движењето. Била забележана позитивна корелација помеѓу прецизноста и аголното поместување на рамото за време на замавот нанапред.

Kelmendi, Miftari & Tekin (2021) примерок од 20 професионални кошаркари од Косово реализирале истражување со цел да ги утврдат кинематичките фактори на слободно фрлање кај подготвителната фаза на шутот. Анализата ја извршиле со APAS систем во кој биле интегрирани камера со брзина од 60 Hz. Како клучни кинематички фактори во подготвителната фаза од шутот биле издвоени: агол во коленото, агол во дланката, агол на натколеницата и агол во лакотот.

Cabarkapa, Fry, Carlos, Poggio & Deane (2021) спровеле истражување со цел утврдување на разликите во кинематичките варијабли меѓу успешни и неуспешни шутери на слободни фрлања. Примерокот на испитаници го сочинувале 17 кошаркари кои реализирале 3 серии по 10 обиди. Кинематичките варијабли биле добиени со примена на три-димензионален систем за следење составен од 17 сензори со фреквенција од 60 Hz. Авторите заклучиле дека успешните шутери имаат поголем агол во коленото и лакотот, поголема висина на лакотот и помал агол во подлактицата во однос на неуспешните. Клучната диференцијација произлегува од позицијата на подлактица, која би требало да биде што попаралелна со замислената вертикална линија во текот на подготвителната фаза.

БИОМЕХАНИКА

Cabarkapa, Fry, Carlos, Poggio & Deane (2021) на примерок од 13 испитаници извршиле компарација на кинематички показатели меѓу успешните и неуспешните шутери на слободни фрлања. Испитаниците реализирале 3 серии по 10 обиди. Кинематичките показатели биле одредени со помош на софтверот Киновеа кој го користеле за анализа на видеа добиените од камера која снимала со фреквенција од 30 Hz. Резултатите покажале дека пониската позиција на лактот под влијание на поголемата флексија во коленото, скочниот зглоб и колкот во текот на подготвителната фаза можат да придонесат за подобрување на прецизноста на шутот. Понатаму, погоелмата висина на исфрлање и аголот на исфрлање би можеле да ја намалат маргината на грешка и да ја подобрат успешноста на шутот.

Templin, Cabarkapa, Miller, Cabarkapa, Fry, Eliason, Frazer, Medjaouri, Chambers, Saylor & Nicolella (2023) ги истражувале кинематичките факторите од важност за точност во шутирање слободно фрлање. За таа цел било извршено снимање со 9 камери со фреквенција од 120 Hz без користење на маркери. Примерокот на испитаници го сочинувале 34 кошаркари со различно ниво на физичка перформанса. Мултиваријатната регресивна анализа открила дека подрамнувањето во рамнината на шутот, ротацијата на трупот, упадниот агол и тајмингот на ектензија во лакотот биле клучни показатели кои придонесуваат за точност на шутот.

Cabarkapa, Cabarkapa, Miller, Templin, Frazer, Nicolella & Fry (2023) спровеле истражување на 34 рекреативно активни мажи со предходно професионално кошаркарско искуство. Испитаниците биле категоризирани според нивната успешност од линија за слободни фрлања, успешни кои постигнале (≥ 70% од линијата за слободни фрлања) и неуспешни (<70% од линијата за слободни фрлања). Целта на истражувањето било да се изврши сеопфатна биомеханичка анализа на техниката на изведувување на слободни фрлања и да се истражат разликите помеѓу успешните и неуспешните испитаници. За прибирање и обработка на податоците се користел три–димензионален систем без употреба на маркери составен од 9 камери со фрекфенција од 120 Hz. Добиените резултати откриваат дека успешните испитаници движењето го изведувале на поконтролиран начин со пониска позиција на коленото, исто така утврдиле дека успешните испитаници имале поголема максимална висина на исфралање на топката и помал наклон на трупот.

БИОМЕХАНИКА

2. ПРЕДМЕТ, ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

2.1. Предмет на истражување

Предмет на дипломскиот труд беа определни кинематички показатели на шутот од слободно фрлање во кошарка.

2.2. Цел на истражувањето

Главна цел на истражувањето беше да се утврди ефектот на кинематичките показатели во предикцијата на успешноста на шутирање слободно фрлање. Дополнителна цел беше поставена да се изврши компаративна анализа на кинематичките показатели помеѓу кошаркарите од КК Иба – Скопје и кошаркари кои биле дел од истражувања на други автори.

2.3. Задачи на истражувањето

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,
- Внесување, обработка, анализа и интерпретација на резултатите

3. ХИПОТЕЗИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

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

Х1 – Се очекува предложениот сет од кинематички (предикторски) варијабли да покаже статистички значајна поврзаност со успешноста на шутирање слободно фрлање.

Х2 – Се очекува статистички значајна разлика во резултатите на кинематичките варијабли меѓу кошаркарите од КК ИБА - Скопје и кошаркари од други истражувања.

БИОМЕХАНИКА

4. МЕТОД НА РАБОТА

4.1. Примерок на испитаници

Примерокот на испитаници го сочинуваа 15 кошаркари од машки пол членови на КК „ИБА - Скопје” кои се натпреваруваат во младинска лига на Македонија во категорија до 16 г (кадети). Испитаниците беа на просечна хронолошка возраст 15.37 г. (+/- 0.73), телесна маса 77.11 kg (+/- 10.89), телесна висина 187.87 cm (+/- 6.39) и просечен спортски стаж 5.67 г. (+/- 2.60). 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.

4.2. Процедура на мерење

Истражувањето беше реализирано во спортска сала со димензии во склад со пропозициите на ФИБА. На оваа му претходеа подготвителни активности кои вклучуваа поставување на уредите за снимање, обележување на анатомските делови од телото и нивно облепување со самолеплива еднослојна трака, загревање и пробно шутирање од линијата за слободно фрлање.

Слободните фрлања беа снимени со два уреди. Мобилен телефон од моделот Samsung Galaxy A55 и видео камера со голема брзина Casio Ex Fh 100. Мобилниот телефон беше поставен перпендикуларно (под прав агол) на рамнината (сагитална) на движење на оддалеченост од 3 m и висина од 1.3 m, со нагодена временска резолуција од 60 фрејмови во секунда и просторна резолуција од 1920x1080 пиксели. Видео камерата беше позиционирана фронтално во однос на кошаркарот на оддалеченост од 6 м од линијата за шутирање на висина од 1.3 m, со временската резулуција 120 фрејмови во секунда а просторната резолуција 640x480 пиксели.

Шест еднослојни самолепливи маркери со контрастна боја во однос на позадината беа залепени врз центрите на зглобовите од страната на доминантата рака (десен модел): горен скочен зглоб, колено, колк, рамо, лакот и дланка на локација според препораките на Dempster W.T. 1955.

Потоа беше спроведено загревање кое на почетокот започна со трчање, потоа беа вклучени и различни видови на потскокнувања проследени со динамички вежби за истегнување. Непосредно пред започнување на сминањето кошаркарите имаа неколку минутно шутирање од различни растојанија вклучително и шутирање од слобдно фрлање.

По завршувањето на сите подготвителни активности кошаркарите пристапија кон изведување на 10 последователни шутирања од слободно фрлање со стандардна кошаркарска топка (величина 7) од марката Molten BG4500.

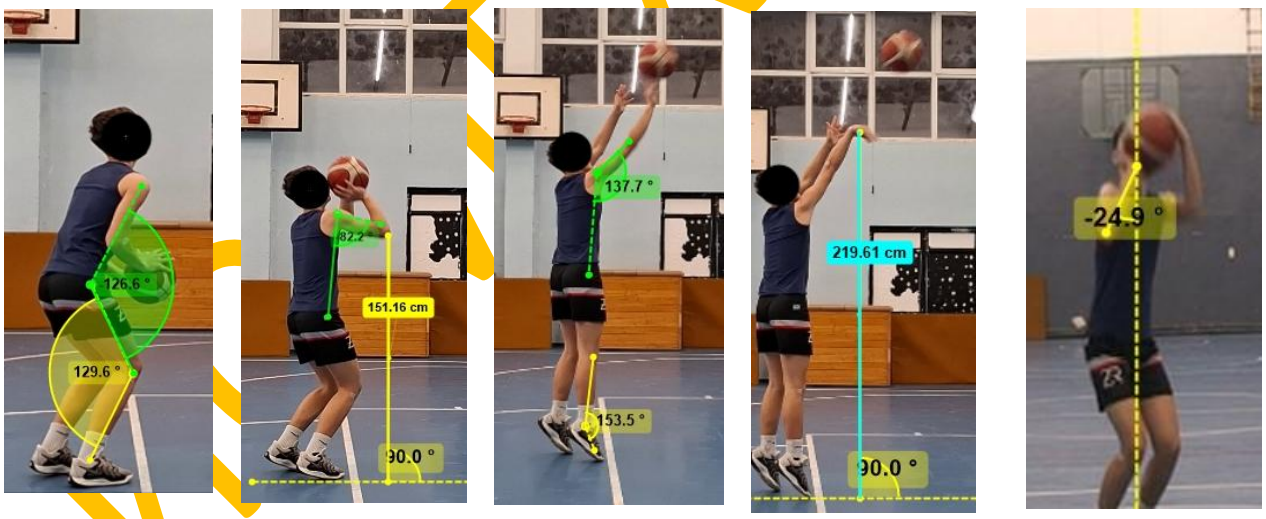
БИОМЕХАНИКА

За репродукција и мерење на кинематичките варијабли беше користен биомеханичкиот софтвер Kinovea-0.9.5 кој изобилува со алатки за регистрирање на време, растојание и агли на деловите од телото. Мерењето беше извршено од страна на исто лице. Сите кинематички показатели беа измерени од видео снимките на мобилниот телефон, освен агол на проекција на подлактицата во фронтална рамнина по завршеток на првата фаза (ППДФРЗПФ) кој беше измерен од видео снимките на камерата.

4.3. Примерок на биомеханички варијабли

Варијаблите кои се предмет на ова истражувања произлегуваат од просторните (аголни и линеарни) и временските кинематички карактеристики на перформансата како предикторски сет на варијабли. Критериумската варијабла е дефинира преку процентот на успешност на изведување слободно фрлање – ПУСФ.

За потребите на анализата шутот беше поделен во две фази. Првата фаза трае од моментот кога кошаркарот ќе започне да ја подигнува топката (антефлексија во зглобот на рамото кај некои или/и со флексија во зглобот на лакотот) кон главата, до моментот кога започнува екстензија во зглобот на лакотот. Втората фаза трае од моментот на започнвање на екстензија во зглобот на лакотот до моментот на завршување на контакт на дланката со топката.



а б в г

Фаза 1 Фаза 2

Слика 1. Фази на слободно фрлање и референтни агли

Слика 2. Агол на проекција на подлактица во фронтална рамнина на крајот од првата фаза

БИОМЕХАНИКА

Групата варијабли од аголната кинематика ја формираа: релативен агол во скочниот зглоб по завршеток на втората фаза (РАСЗЗВФ) (слика 1/в), релативен агол во колената по завршеток на првата фаза (РАКНЗПФ) (слика 1/а), релативен агол во колк по завршеток на првата фаза (РАККЗПФ) (слика 1/а), релативен агол во рамото по завршеток на првата фаза (РАРМЗПФ) (слика 1/б), релативен агол во рамо по завршеток на втората фаза (РАРМЗВФ) (слика 1/в) и агол на проекција на подлактицата во фронтална рамнина по завршеток на првата фаза (ППДФРЗПФ) (слика 2), амплитуда во зглоб на рамо (АМЗРМ), амплитуда во зглоб на колено (АМЗКН) и амплитуда во зглоб на лакт (АМЗЛКК). Во групата на линеарни кинематички варијабли застапени се: максимална висина на лактот на завршеток на втората фаза (МВЛКЗВФ) (слика 1/б), максимална висина на шаката после исфрлање на топката (МВШПИТ) (слика 1/г). Групата – временски карактеристики ја сочинуваа: вкупно времетраење на движењето (ВВТД), времетраење на првата фаза (ВВПФ) и времетраење на втората фаза (ВВИФ).

4.4. Статистичка анализа

Најпрво беа пресметани основните дескриптивни статистички показатели. Оправданоста за примена на параметриски методи беше потврдена со Kolmogorov-Smirnov и Shapiro-Wilk тестот. Потоа прелиминарните анализи ја потврдија погодноста на податоците за спроведување на параметриски статистички методи (табела 2). За утврдување на влијанието на предикторскиот сет на кинематички варијабли врз критериумската варијабла (процент на успешни слободни фрлања) беше применета линеарна регресивна анализа со методот „Enter“. Понатаму, t – тест на еден примерок беше пресметан за утврдување на разликите во просечните резултати меѓу ова истражување и истражувања од други автори. За обработка на податоците беше користен статистичкиот пакет програм IBM SPSS Statistics 27. Нивото на значајност беше нагодено на $p<0.05$, а за утврдување на функционалната разлика кај t – тестот на еден примерок беше пресметан Cohen's d effect size каде 0.2 – 0.5 мал ефект, 0.5 – 0.8 среден ефект и >0.8 голем ефект.

БИОМЕХАНИКА

5. РЕЗУЛТАТИ

Дескриптивните статистички показатели (Mean, Std. deviation, Skewness, Kurtosis) на сите кинематички варијабли и процентот на успешност на шутот се прикажани во табела 1.

Табела 1. Основни дескриптивни показатели на кинематичките варијабли

Варијабли	N	Mean	Std. Deviation	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
ПУСФ	15	61.33	19.952	-.335	.580	-.307	1.121
ППДФРЗПФ	15	21.4573	8.50468	-1.333	.580	2.312	1.121
МВЛКЗВФ	15	143.5167	18.88918	-.032	.580	-.141	1.121
РАРМЗВФ	15	135.6847	10.24899	-.721	.580	-.068	1.121
РАРМЗПФ	15	86.6547	22.09504	1.160	.580	2.747	1.121
РАКНЗПФ	15	109.8547	10.09587	.885	.580	1.346	1.121
МВШПИТ	15	220.7820	16.28160	-.975	.580	.148	1.121
РАККЗПФ	15	131.6747	9.97105	-.422	.580	2.405	1.121
РАСЗЗВФ	15	138.9627	6.52905	.167	.580	-1.017	1.121
ВВТД	15	.9073	.26372	.689	.580	-.700	1.121
ВВПФ	15	.5638	.23776	.836	.580	-.610	1.121
ВВИФ	15	.3435	.07375	-.320	.580	-.536	1.121
АМЗЛК	15	104.7107	12.25953	.116	.580	-1.321	1.121
АМЗКН	15	56.5473	10.68467	-.893	.580	.814	1.121
АМЗРМ	15	49.0300	19.28242	-1.028	.580	1.129	1.121

Тестот за проверка на нормалноста на дистрибуцијата на податоците (Kolmogorov-Smirnov и Shapiro-Wilk) ја потврди оваа претпоставката кај сите варијабли (табела 2). Сепак треба да се истакне дека распределбата на резултатите кај варијаблите агол на проекција на подлактицата во фронтална рамнина – ППДФРЗПФ, релативен агол на рамото по завршеток на првата фаза – РАРМЗПФ и релативен агол во зглобот на колкот по завршеток на првата фаза – РАККЗПФ е со изразена лептокуртичност односно повеќето од резултатите се концентрирани околу центарот на распределбата (табела 2).

Биом.

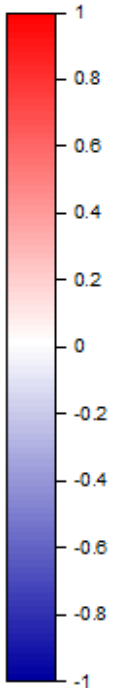
Табела 2. Показатели на нормалноста на дистрибуцијата

Варијабли	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
ПУСФ	.135	15	.200*	.959	15	.669
ППДФРЗПФ	.183	15	.188	.903	15	.105
МВЛКЗВФ	.119	15	.200*	.976	15	.932
РАРМЗВФ	.175	15	.200*	.936	15	.335
РАРМЗПФ	.190	15	.152	.892	15	.071
РАКНЗПФ	.115	15	.200*	.945	15	.448
МВШПИТ	.197	15	.121	.889	15	.064
РАККЗПФ	.158	15	.200*	.944	15	.438
РАСЗЗВФ	.164	15	.200*	.959	15	.681
ВВТД	.227	15	.037	.911	15	.140
ВВПФ	.162	15	.200*	.884	15	.055
ВВИФ	.122	15	.200*	.970	15	.853
АМЗЛК	.154	15	.200*	.928	15	.256
АМЗКН	.211	15	.070	.914	15	.155
АМЗРМ	.236	15	.024	.914	15	.156

Прегледот на табела 3 каде се прикажани коефициентите на корелација открива дека тие се движат во распон од -0.009 до 0.962. Највисока коралација е забалежана меѓу варијаблите времетраење на прва фаза (ВВПФ) и вкупно времетрање на движењето (ВВТД) (r=0.962, p<.01). Од групата на предикторски варијабли иако не статистички значајна сепак највисока корелација со критериумската варијабла е забележана кај амплитуда во зглоб на колено – (АМЗКН) (r=-.351) и агол во зглоб на рамо по завршеток на првата фаза (РАРМЗВФ) (r=.287).

БИОМЕХ

Табела 3. Корелација меѓу варијаблите



Варијабли	ПУСФ	ППДФРЗПФ	МВЛКЗВФ	РАРМЗВФ	РАРМЗПФ	РАКНЗПФ	МВШПИТ	РАККЗПФ	РАСЗЗВФ	ВВТД	ВВПФ	ВВИФ	АМЗЛК	АМЗКН	АМЗРМ
ПУСФ	1.000														
ППДФРЗПФ	0.232	1.000													
МВЛКЗВФ	0.082	-0.009	1.000												
РАРМЗВФ	0.287	0.118	0.467	1.000											
РАРМЗПФ	0.170	0.324	0.799**	0.489	1.000										
РАКНЗПФ	0.257	-0.037	0.018	0.151	-0.232	1.000									
МВШПИТ	0.195	0.186	0.805**	0.661**	0.546*	0.157	1.000								
РАККЗПФ	0.159	-0.183	0.185	-0.062	-0.178	0.606*	0.167	1.000							
РАСЗЗВФ	0.220	-0.013	-0.517*	-0.628*	-0.273	-0.286	-0.725**	-0.147	1.000						
ВВТД	0.015	0.390	0.344	-0.179	0.551*	-0.591*	0.198	-0.219	0.036	1.000					
ВВПФ	0.031	0.488	0.204	-0.278	0.480	-0.528*	0.039	-0.173	0.156	0.962**	1.000				
ВВИФ	-0.047	-0.178	0.571*	0.259	0.424	-0.410	0.582*	-0.227	-0.374	0.474	0.216	1.000			
АМЗЛК	0.115	-0.227	0.019	0.447	-0.245	0.301	0.382	0.394	-0.455	-0.303	-0.417	0.261	1.000		
АМЗКН	-0.351	0.104	0.425	0.082	0.383	-0.671**	0.357	-0.183	-0.237	0.558	0.403	0.695**	0.026	1.000	
АМЗРМ	-0.042	-0.308	-0.668*	-0.029	-0.886**	0.345	-0.274	0.171	-0.021	-0.726**	-0.698**	-0.348	0.519*	-0.395	1.000

*p<.05

**p<.01

ДНИКА

Во табела 4 се прикажани мултиплата корелација R, коефициентот на детерминација R square и прилагодениот коефициент на детерминација adjusted R square. Притоа, регистрирана е средна мултипла корелација (R=.473) меѓу системот од две предикторски варијабли и кретириумската варијабла, при што двете кинематички предикторски варијабли објаснуваат 22.3% од варијабилитетот на успехот на шутот.

Табела 4. Резиме на моделот

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.473[a]	.223	.094	18.99163

Предложениот модел од две кинематички варијабли не е статистички значаен во предикцијата на успехот на шутирање слободно фрлање F (2,12)=1.726, sig.=.219 (табела 5).

Табела 5. Ниво на значајност на регресивната анализа

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1245.151	2	622.575	1.726	.219[b]
	Residual	4328.182	12	360.682		
	Total	5573.333	14			

Резултатите од табела 6 откриваат статистички значајна разлика меѓу кинематичките варијабли од истражуваниот примерок и примероците испитаници од други автори во четири варијабли: агол на проекција на подлактица во фронтална рамнина (ППДФРЗПФ) кај вешти кошаркари t(14) = 13.37, sig.= .000, Cohen's d = 1.59494, релативен агол во колено по завршеток на првата фаза (РАРМЗВФ) кај невешти кошаркари t(14) = -3.086, sig.= .008, Cohen's d = -0,79696, релативен агол во рамото по завршеток на втората фаза (РАРМЗВФ) кај вешти кошаркари t(14) = 4.642, sig.= .000, Cohen's d = 1.19862 и невешти кошаркари t(14) = 4.264, sig.= .001, Cohen's d = 1.10105, релативен агол во колено по завршеток на првата фаза (РАКНЗПФ) кај професионални кошаркари t(14) = -4.832, sig.= .000, Cohen's d = -1.24768.

Табела 6. t - тест на еден примерок на кинематичките варијабли

Варијабли	Автор	Примерок на испитаници	Test value	Compared Test value	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Cohen's d
ППДФРЗПФ	Cabarkapa, D.,et al. (2021a).	n=17 вешти кошаркари-рекреативци	7.9	21.45733	6.174	14	**.000**	13.55733	1.59494
	Cabarkapa, D.,et al. (2021a).	n=17 невешти кошаркари-рекреативци	19.8	21.45733	.755	14	.463	1.65733	0.19494
РАКНЗПФ	Cabarkapa, D.,et al. (2021a).	n=17 вешти кошаркари-рекреативци	108.5	109.85466	.520	14	.611	1.35467	0.13419
	Cabarkapa, D.,et al. (2021a).	n=17 невешти кошаркари-рекреативци	117.9	109.85466	-3.086	14	**.008**	-8.04533	-0.79696
	Kelmendi, S. D., Miftari, F., Tekin, M. (2021).	n=20 професионални кошаркари од Косово	122.45	109.85466	-4.832	14	**.000**	-12.59533	-1.24768
МВЛКЗВФ	Cabarkapa, D.,et al. (2021a).	n=17 вешти кошаркари-рекреативци	147.6	143.51666	-.837	14	.417	-4.08333	-0.21617
	Cabarkapa, D.,et al. (2021a).	n=17 невешти кошаркари-рекреативци	153.4	143.51666	-2.026	14	.062	-9.88333	-0.52323
РАРМЗВФ	Cabarkapa, D.,et al. (2021a).	n=17 вешти кошаркари-рекреативци	123.4	135.68466	4.642	14	**.000**	12.28467	1.19862
	Cabarkapa, D.,et al. (2021a).	n=17 невешти кошаркари-рекреативци	124.4	135.68466	4.264	14	**.001**	5.60896	1.10105
РАККЗПФ	Kelmendi, S. D., Miftari, F., Tekin, M. (2021).	n=20 професионални кошаркари од Косово	135	131.67466	-1.292	14	.217	-3.32533	-0.33349

ВИСМЕХАНИКА

6. ДИСКУСИЈА

Главна цел на истражувањето беше да се утврдат кинематичките показатели преку кои ќе се предвиди успешноста во шутирање слободно фрлање. Како дополнителна цел се наметна потребата од компарирација на кинематичките показатели од истражениот примерок на испитанци од КК ИБА – Скопје со кинематичките показатели добиени од истражувања на други автори.

Во однос на првата цел, и покрај тоа што определени кинематички варијабли од предикторскиот сет покажаа статистички значајна кореалација, сепак не беше забележана нивна изразена и статистички значајна корелација со критеримуската варијабла - процентот на успешност на изведување слободно фрлање – ПУСФ. Ваквата разврска веројатно се должи на примерок на испитаници кој броеше само 15 кошаркари, што претставува помалку од препораките за 15 испитаници на предиктор (Stevens, 1996) или N > 50 = 8m (m = број на предиктори) (Tabachnick & Fidell, 2013). Оттука, предложениот модел нема доволна статистичка моќ за регистрирање на значајни односи меѓу варијаблите дури иако тие реално постојат. Исто така, стандардните грешки на добените коефициенти се големи што придонесува за намалување на нивото на значајност на регресивната анализа.

Дополнителен компромитирачки фактор за резултатите веројатно произлезе од техничките услови на мерење и користената опрема. Дел од кошаркарите поради сопствениот стил на шутирање телото им беше позиционирано дијагнонално во однос на кошот и насоката на шутирање, односно предниот дел од стапалата беа насочени под агол во однос на линијата кон обрачот. Ова предизвика појава на „паралакс грешка“ која се јавува кога оптичката оска на камерата и фотографската рамнина (во овој случај сагитална рамнина на движење) не се ориентирани нормално (под агол од 90 степени), што беше особено евидентно во кинематиката на долните екстемитети а од што зависи и точноста на мерењето. Понатаму, временската резолуција на камерата и нејзината бленда не беа најпогодни за детектирање на крајната позиција на дланката и моментот на одвојување на дланката од топката што исто така влијаеше на точноста на мерењето.

Сепак, во претходни истражувања е потврдено присуството на кинематички фактори со изразена важност за успешно шутирање слободно фрлање. Cabarkapa et al. (2021a) утврдиле дека кај напредни кошаркари пониската позиција на лакотот предизвикана од поголемата флексија во зглобот на коленото, глуждот и колкот во текот на подготвителната фаза на шутот може да доведе до подобрување на точноста во шутот. Понатаму, авторите заклучиле дека висината на исфрлање и аголот на исфрлање би можело да ја намали маргината на грешка и да ја подобри успешноста во изведбата. Во друга студија Cabarkapa et al. (2021a) ја истакнуваат важноста на аголот на проекција на подлактицата во фронтална рамнина кој ги диференцира успешните и неуспешните фрлања кај напредни кошаркари. Важноста на висина на исфрлање била потврдена и во студијата на Caseiro et al. (2023). Авторите истакнале дека искусните кошаркари демонстрираат поголема висина на исфрлање што пак предизвикува помала брзина на исфрлање на топката. Спротивно на ова,

БИОМЕХАНИКА

Cabarkapa et al. (2023) во истражување спроведено на рекреативци со претходно кошаркарско искуство од најмалку 4 години утврдиле дека пренагласената висина на исфрлање може да биде контрапродуктивна бидејќи може да доведе до повеќе промашени отколку погодени слободни фрлања кај искусни кошаркари.

Прегледот на достапната литература укажува дека кинематиката во зглобот на колената претставува еден од навајважните показатели за успех во шутирање слободно фрлање. Kelmedini et al. (2021) во своето истражување на професионални кошаркари од Косово ја истакнуваат важноста на овој показател во подготвителната фаза на шутот. Како дополнителни показатели авторите ги наведуваат: аголот во зглобот на дланката, зглобот на колкот и зглобот на лакотот. Понатаму, Ammar et al. (2015) констатирале присуство на позитивна корелација меѓу амплитудата во зглобот на колената и успешноста во шутирање слободно фрлање кај студенти почетници. Исто така, го истакнале значењето на овој показател и потребната од негово следење кај неискусни/почетници играчи во процесот на учење на слободно фрлање. Неговата важната улога во одреден степен беше забележана и во ова истражување, каде иако не е беше детектирана статистички значајна поврвзаност со процентот на успешни слободни фрлања – ПУСФ сепак оваа поврзаност беше највисока од сите други. Сепак, во споредба со споменатото истражување тука беше регистриран негативен коефициент на корелација кој веројатно се должи на разликите во нивото на перформанса и спортскиот стаж меѓу двата примерока.

Поврзаноста меѓу кинематиката во зглобот на рамото и точноста на шутот е исто така документирана во литературата. Ogawa et al. (2019) известиле дека амплитудата во зглобот на рамото и брзината во зглобот на колената во втората (пропулзивна) фаза покажале највисока корелација со точноста на шутот на примерок од универзитетски кошаркари. Овој резултат е во одредена линија со резултатот за поврзаност меѓу амплитудата во зглобот на рамото - АМЗР и процентот на успешни слободни фрлања – ПУСФ од ова истражување, кој иако не беше статистички значаен сепак беше втор по висина.

Компаративната анализа на кинематичките показателите кај кошаркарите од КК ИБА – Скопје откри статистички значајна разлика во однос на примерокот од вешти изведувачи на слободно фрлање кои биле анализирани од Cabarkapa et al. (2021a) варијаблата агол на проекција на подлактицата во фронтална рамнина по завршеток на првата фаза (ППДФРЗПФ). Оваа варијабла во истото истражување покажала најголем ефект во предвидувањето на разликите меѓу вештите и невештите изведувачи на слободно фрлање. Притоа, вештите изведувачи манифестирале помал агол на проекција во однос на невештите. Оттука, може да се заклучи дека добиените резултати се во согласност со споменатиот наоди ако се има предвид процентот на успешно реализирани слободни фрлања (61.3%) кој според класификација на Cabarkapa et al. (2021a) влегува во категорија на невешти.

БИОМЕХАНИКА

Релативниот агол во колената по завршеток на првата фаза (РАКНЗПФ) кај испитаниците од ова истражување статистички знајачно се разликува во однос на невештите кошаркари кои биле истражувани од Cabarkapa et al. (2021a), но и професионалните кошаркари од Косово кои биле истражувани од Kelmendi et al. (2021). Одредени истражувања ја потврдуваат поголема флексија во колената на вештите изведувачи во однос на невештите (Cabarkapa et al., 2021a; Cabarkapa et al., 2021b; Cabarkapa et al., 2023). Од друга страна пак, други истражувања покажуваат дека не се присутни значајни разлики во флексијата во колената помеѓу успешните и неуспешните обиди кои исто така се потврдени и во услови на замор (Uygur et al., 2010).

Добиените резултатите за релативниот агол во рамото по завршеток на втората фаза (РАРМЗВФ) статистички знајачно се разликуваат во однос на вештите и невештите изведувачи на слободно фрлање од примерокот на Cabarkapa et al. (2021a). Споредбената анализа меѓу успешните и неуспешните изведувачи кај овој показател не покажа значајна разлика (Cabarkapa et al., 2021a, Cabarkapa et al., 2021b). И покрај тоа, важноста на овој показател не треба да се занемари, туку тој би можел да се смета како еден од најважните прилагодуваки фактори кои се неопходни за постигнување на оптимален агол и брзина на исфрлање на топката (Cabarkapa et al. (2021a).

И покрај значајните наоди истакнати погоре истражувањето имаше одредени ограничувања кои треба да се споменат. Прво, големината на примерокот е недоволен за генерализирање на резултатите на поширока популација. Второ, изборот и бројот на техничките ресурси за снимање на движењата. Одредувањето на показателите преку видео снимка од една камера може да влијае на точноста на резултатот дури и кога движењето минимално отстапува од предвидената рамнина на движење. Во иста насока е и ограничнувањето кое произлегува од временската резолуција од 60 фрејма во секунда на камерата која снимаше во сагитална рамнина. Трето, истражувањето вклучи само определен број показатели од просторната и временската кинематика без воопшто да бидат застапени показатели од просторно-временската кинематика.

БИОМЕХАНИКА

7. ЗАКЛУЧОК

Врз основа на собраните и обработените податоци како и добените резултати, можат да се извлечат следните заклучоци:

1. Предложениот модел од кинематички показатели не покажа статистички значајна поврзаност со успешноста во шутирање слободно фрлање. Од таа причина хипотезата Х1 во целост се отфрла.
2. Компаративната разлика на резултатите од кинематичките показатели меѓу кошаркарите на КК ИБА – Скопје и кошаркари кои биле истражувани од други автори откри прусуство на статистички значајна разлика во 3 од 5 анализирани варијабли. Оттука, хипотезата Х2 се прифаќа делумно.

Гледано од практичен аспект истражувањето обезбеди корисни информации за планирањето и програмирањето на тренажните содржини со техничка насоченост првенствено за кошаркари од млада возраст.

Имајќи го предвид ограниченият број на истражувања од оваа тематика на нашите простори, како и присуството на бројни биомеханички фактори кои ја определуваат точноста на шутот, во иднина потребни се подетални истражувања кои покрај анализа на кинематичките показатели ќе вклучат и анализа на кинетичките показатели, потоа нивна компаративна анализа во однос на натпреварувачкото ниво и физичкатата перформанса, возраста, полот и играчката позиција.

БИОМЕХАНИКА

8. ЛИТЕРАТУРА

Ammar, A., Chtourou, H., Abdelkarim, O., Parish, A. & Hoekelmann, A. (2015). Free throw shot in basketball: kinematic analysis of scored and missed shots during the learning process. *Sport Science for Health. 12*(1). 27-33. https://doi.org/10.1007/s11332-015-0250-0.

Cabarkapa, D., Cabarkapa, V. D., Miller, D. J., Templin, T. T., Frazer, L. L., Nicolella, P. D. & Fry, C. A. (2023). Biomechanical characteristics of proficient free-throw shooters – markerless motion capture analysis. *Front. Sports Act. Living 5*:1208915. Doi:10.3389/fspor.2023.1208915

Cabarkapa, D., Fry, C. A., Carlson, M. K., Poggio, P. J., Deane, A. M. (2021a). Key Kinematic Components for Optimal Basketball Free Throw Shooting Performance. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine. 38*(4), 5-15. DOI: 10.18276/cej.2021.4-01

Cabarkapa. D, Fry, C.A, Poggio, P.J. & Deane, A.M. (2021b). Kinematic differences between proficient and non-profi cient free throw shooters – video analysis. *Journal of Applied Sports Sciences, Vol.1,* pp. 12-21. DOI: 10.37393/JASS.2021.01.2

Caseiro, A., França, C., Faro, A., & Branquinho Gomes, B. (2023). Kinematic analysis of the basketball jump shot with increasing shooting distance: comparison between experienced and non-experienced players. *Acta of bioengineering and biomechanics*, *25*(2), 61–67.

Dempster, T. W. (1955). *Space Requirements of the Seated Operator: Geometrical, kinematic and mechanical aspects of the body with special reference to the limbs.* Wright – Patterson Air Froce Base, OH: Wright Air Development Center, United States Air Force.

Hamilton, R. G. & Reinschmidt, C. (1997). Optimal trajectory for the basketball free throw. *Journal of Sports Sciences, 15:*5, 491-504. http://dx.doi.org/10.1080/026404197367137

Hay, G. J. (1978). *The Biomechanics of Sports Techniques 2nd Ed.* University of Iowa.

Humphrey, D. J. & O'Rourke, L. S. (2015). *An Introduction to Biomechanics, Solids and Fluids, Analysis and Design 2nd Ed*. New Haven, CT: Springer

Kelmendi, D., Miftari, F., Shaqiri, K. & Dedi, T. (2025). Kinematic Analysis of Basketball Free Throw Trajectory. *Sport Mont Journal 23*(2). 109 – 114. DOI 10.26773/smj.250616

Kelmendi, S. D., Miftari, F., Tekin, M. (2021). Kinematic Analysis of the Basketball Free Throw in Preparation Phase of Elite Athletes. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences 9*(6). 1204 – 1212. DOI: 10.13189/saj.2021.090614

Knudson, D. (2021). *Fundamentals of Biomechanics 3rd Ed.* San Marcos, TX: Springer

Kozar, B., Vaughn, R. E., Whitfield, K. E., Lord, R. H. & Dye, B. (1994). Importance of Free-Throws at Various Stages of Basketball Games. *Perceptual and Motor Skills, 78*(1), 243-248. doi:10.2466/pms.1994.78.1.243

БИОМЕХАНИКА

Krause, V. J., Nelson, C. (2019). *Basketball Skills & Drills 4th edition.* Champaing: Human Kinetics.

Ogawa, M., Hoshino, S., Fujiwara, M. & Nakata, H. (2019). Relationship between basketball free – throw accuracy and other performance variables among collegiate female players. *Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, 8*(3): 127-136. DOI: 10.7600/jpfsm.8.127

Stevens, J. (1996). *Applied multivariate statistics for the social sciences 3rd ed.* Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2013). *Using Multivariate statistics 6th ed.* Boston: Pearson Education.

Templin, T., Cabarkapa, D., Miller, J., Cabarkapa, D., Fry, A., Eliason, T., Frazer, L., Medjaouri, O., Saylor, K. & Nicolella, D. (2023). Relationship Between Kinematic Sequence Characteristics, Upper Extermity Joint Work, And Free – Throw Shooting Accuracy. *International Society of Biomechanics in Sports. 42*(1).

Tran, M. C. & Silverberg, M. L. (2008). Optimal release conditions for the free throw in men's basketball. *Journal of Sports Sciences, 26:*11, 1147-1155. DOI: 10.1080/02640410802004948

Туфекчиевски, С. А. (2000). *Биомеханика на Човековиот Локомоторен Систем.* Скопје.

Туфекчиевски, С. А., Ацески, А. (2009). *Биомеханика второ проширено и дополнително издание.* Скопје.

Uygur, M., Goktepe, A., Ak, E., Karabörk, H., and Korkusuz, F. (2010). The effect of fatigue on the kinematics of free throw shooting in basketball, Journal of Human Kinetics, Vol. 24 No. 2010, pp. 51-56.

БИОМЕХАНИКА