
**PILOT STUDY: KINEMATIC ANALYSIS OF THE TECHNIQUE OF THE EXERCISE
"BACK UPRISE TO MALTESE CROSS" ON RINGS IN THE MEN'S GYMNASTICS**

Iliya Kanelov

South-West University "Neofit Rilski", Faculty of Pedagogy, Blagoevgrad, Bulgaria,
i_kanelov@abv.bg

Martin Mishev

South-West University "Neofit Rilski", Faculty of Public Health, Health Care and Sports, Blagoevgrad, Bulgaria, martingimnastika111@abv.com

Abstract: This is a pilot study, because our chosen element of gymnastic rings is technically complex and requires a high level of professional gymnastics training. In the national team of the Republic of Bulgaria there are only three athletes who perform this exercise. The aim of our research is to analyze the fundamentals of the kinematic and reveal phase structure of the technique during the execution of "Back uprise to Maltese cross" element of Rings in men's gymnastics. To analyze the spatial parameters of the exercise: phases; technical performance parameters; angular positions in joint centers; center of gravity displacement trajectory; angular velocity; conditions for balance in the Cross position. To determine the displacement of the athlete's general Center of gravity (COG) when performing the exercise and analysis of a rational performance technique. We used the cinematographic method, which includes a segmental analysis of the kinematic chain of successively filmed frames of the exercise performance. We determined the trajectory of the COG movement and the phases of the "MC" element during accelerating angular motion. The subject of research is the transposition of the center of gravity relative to the athlete's kinematic chain and its location during the static Maltese cross exercise, as a condition for balance. We analyzed the performance technique of a competitor who has 17 years of competitive sports practice. long-time champion of the Republic of Bulgaria in the sports all-around and rings apparatus, participant in the World Cup series of the International Gymnastics Federation (FIG). Anthropometric characteristics of the subject: height 165 cm, weight 56 kg, age 23, BMI of 20.6 kg/m². We used a Go Pro HERO 12 Black HDR 5.3K and 4K camera to capture the photo frames. Graphic processing was done with PAINT 3D program, Windows 10. Kinematic (qualitative) analysis includes analysis of the following parameters: movement trajectory; phases of movement; angular positions in joint centers; angular velocity; conditions for static or dynamic stability without including an analysis of the forces that impart motion to the body, which is actually called kinetic analysis. We have defined four main phases of the exercise: 1) first phase of the backflip swing; 2) phase passing through vertical line and swing to backward; 3) phase of rise and preparation for taking the Maltese Cross; 4) final position of holding the Maltese Cross pose. We determined the location of the Center of Gravity in each of the phases and by projection determined its displacement trajectory. We found that in the static position in the Maltese Cross pose, the angular position of the kinematic pair of arm and forearm in relation to the mechanical axis of the torso must make an angle of 40°. Under this condition, the COG will pass through the line connecting the two supports (the grip of the palms) and will balance the resulting lever system of the first order (expressed by the formula $P_1 \times r_1 = P_2 \times r_2$), where P_1 is the sum of the weight of the head, torso and upper limbs, and P_2 is the sum of the weight of the lower limbs. We also determined the amplitude of movement of the COG - the angular displacement is in the range of 270°; duration of the exercise – the exercise performed for the research process is for 1.5 sec and the average angular speed of execution of 180°/sec.

Keywords: kinematic analysis, men's gymnastics, condition for stability, center of gravity

**ПИЛОТНО ПРОУЧВАНЕ: КИНЕМАТИЧЕН АНАЛИЗ НА ТЕХНИКАТА НА
УПРАЖНЕНИЕТО „ЗАДНА ЗАЛУПКА ДО МАЛТИЙСКИ КРЪСТ“ НА ХАЛКИ В
МЪЖКАТА СПОРТНА ГИМНАСТИКА**

Илия Канелов

Югозападен Университет "Неофит Рилски", Факултет по педагогика, Благоевград, България
i_kanelov@abv.bg

Мартин Мишев

Югозападен Университет "Неофит Рилски", Факултет по Обществено здраве, здравни грижи
и спорт, Благоевград, България, martingimnastika111@abv.com

Абстракт: Това е пилотно проучване, тъй като избраният от нас елемент от гимнастическите халки е технически сложен и изисква високо ниво на професионално обучение по гимнастика. В националния отбор на Република България има само трима състезатели, които изпълняват това упражнение. Целта на това изследване е да анализираме основните на кинематични структури при изпълнение на елемента „Задна залупка до Малтийски кръст“ на уреда халки в мъжката спортната гимнастика. Да анализираме пространствените параметри на упражнението: фази; технически параметри на изпълнението; ъглови позиции в ставни центрове; траектория на преместване на Центъра на тежестта; ъгловата скорост; условия за баланс и равновесие при позиция Малтийски кръст. Да определим преместването на общия център на тежестта на състезателя при изпълнение на упражнението и анализ на рационална техника на изпълнение. Ние използвахме кинематографичния метод, който включва сегментен анализ на кинематичната верига на последователно заснети кадри на изпълнение на упражнението. Определихме траекторията на движение на Общият център на тежестта (ОЦТ) и фазите на елемента Малтийски кръст при ускорително ъглово движение. Предмет на изследване е транспозицията на центъра на тежестта спрямо кинематичната верига на състезателя и местоположението му при статичното упражнение Кръст, като условие за баланс. Анализирахме техниката на изпълнение на един състезател, който има спортна състезателна практика 17 г., дългогодишен шампион на България в спортния многобой и уреда халки, участник в сериите на Световната купа към Международната гимнастическа федерация. Антропометрични характеристики на изследваното лице: височина 165 см., тегло 56 кг., години 23 г, ИТМ 20.6 kg/m². За заснемането на фотокадрите използвахме камера Go Pro HERO 12 Black HDR 5.3K and 4K. Графичната обработка е извършена с програма PAINT 3D, Windows 10. Кинематичния (качествения) анализ включва анализ на следните параметри: траектория на движение; фази на движение; ъглови позиции в ставните центрове; ъглова скорост; условия да статична или динамична устойчивост без да включва анализ на силите, които придават движение на тялото, които всъщност се нарича кинетичен анализ.

Определихме четири основни фази на упражнението: 1) парва фаза на мах при задна залупка; 2) фаза преминаване през вис и задмах; 3) фаза на подем и подготовка за заемане на Малтийски кръст; 4) крайна позиция на заемане на поза Малтийски кръст. Определихме местоположението на Центъра на тежестта при всяка една от фазите и чрез проекция определихме траекторията му на преместване. При направеният от нас кинематичен анализ, става ясно, че ъгловата позиция на кинематичната двойка на мишница и предмишница спрямо механичната ос на торса, трябва да склучва ъгъл от 40 °. При това условие ОЦТ ще премине през линията свързваща двете опори (захвата на дланите) и ще балансира получената лостова система изградена от първи род (изразява с формулата $P_1 \times r_1 = P_2 \times r_2$), където P_1 е сумата на силата на тежестта на главата, торса и горните крайници, а P_2 е сумата на силата на тежестта на долните крайници. Ние определихме и амплитудата на движение на ОЦТ – ъгловото преместване е в диапазон от 270° ; времетраене – упражнението изпълнено за изследователския процес е за 1.5 сек и със средната ъглова скорост на изпълнение е 180°/сек.

Ключови думи: кинематичен анализ, мъжка гимнастика, условие за устойчивост, център на тежестта

1. ЦЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Целта на настоящото изследване е чрез използването на аналитичен метод за определяне на общия център на тежестта (ОЦТ) да се регистрира местоположението на ОЦТ на кинематичната система при изпълнение на упражнението „Задна залупка до Малтийски кръст“ в дисциплината халки в спортната гимнастика. След анализ на направените циклограми, да се изведат изводи и препоръки за обучение в изследваното упражнение, като се вземат под внимание законите за равновесие и баланс на телата в статични и динамични системи кинематични системи.

2. МЕТОДОЛОГИЯ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Предмет на изследването е пространствената структура на кинематичната верига при упражнението „Задна залупка до Малтийски кръст“. Обект на изследването е статичното местоположение и траекторията на преместване на Общия център на тежестта на спортиста, като фактор за баланс при динамично и статично равновесие на финалната фаза „Малтийски кръст“. Антропометрични данни за изследваното лице: ръст 165 см, тегло 56 кг, възраст 23 г., ИТМ 20.6 kg/m².

Настоящото изследване има характеристиките на „пилотно проучване“, тъй като избраният от нас елемент от гимнастическите халки е сложен за изпълнение поради необходимостта за проява на високи нива на мускулна сила и мускулен синергизъм (Schärer, Huber, Bucher, Capelli, & Hübner, 2021; Malif, Chrudimský, Štefl, & Stastny, 2023). За правилното му изпълнение е необходима подготовка в рамките на 1-3 години, след като гимнастикът е достигнал много високо ниво на представяне. Ето защо е трудно да се анализират

достатъчно варианти на техническо изпълнение, което да ни даде възможност за статистически анализ да емпирични данни от достоверна представителна извадка.

За прилагане на аналитичния метод за определяне на Общия център на тежестта е необходимо заснемане на снимков материал на непосредствено изпълнение на упражнението. В настоящето изследване, заснемането беше проведено в Зала по гимнастика към спортен комплекс „Пирин“, Благоевград.

Използваният от нас кинематичен биомеханичен анализ определя само пространствените характеристики на спортното упражнение: поза, ориентация, амплитуда на движение, траектория на транспозиция на тялото (ОЦТ), без да взима под внимание силовите характеристики и причините за тяхното пораждаване.

Определяне на реферирана методика за кинематичен биомеханичен анализ на движението; описание на движението. Точно и прецизно описание на главните фази движението. Определяне на механичните оси и кинематичните вериги, които изграждат (отворени или затворени).

Използвахме аналитичния метод за определяне на Общия център на тежестта, като следвахме утвърдена методика, прилагана от нас в предишни наши изследвания (Kanelov & Martinov, 2023).

Анализ на траекторията на движение на ОЦТ при ротационно движение;

За обработка и графично представяне на снимковия материал използвахме програма PAINT 3D, Windows 10 и камера Go Pro HERO 12 Black HDR 5.3K and 4K

3. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Резултати от приложената методика за определяне на общия център на тежестта на гимнастика

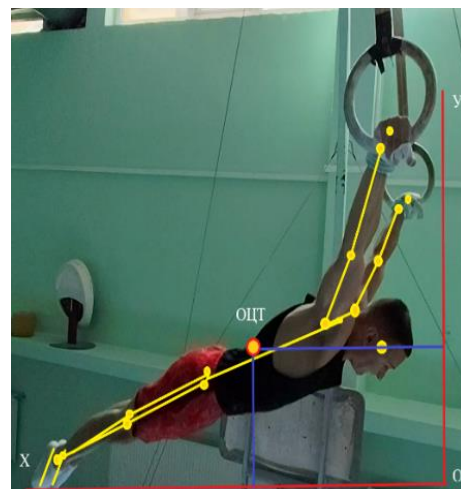
Определихме четири основни фази на упражнението представени на снимки 1-5.



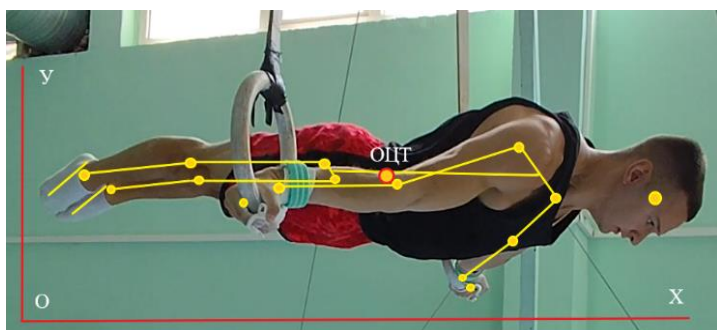
Снимка 1. Местоположение на ОЦТ при първа фаза на задна залупка.



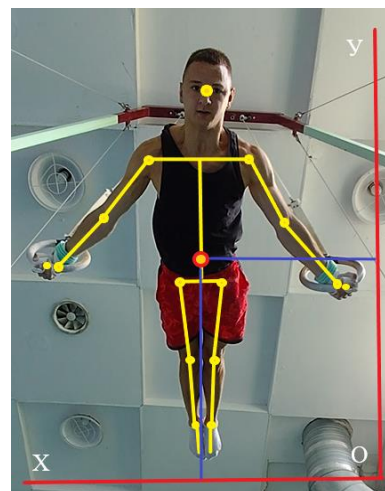
Снимка 2. Местоположение на ОЦТ при втора фаза на преминаване през вис.



Снимка 3. Местоположение на ОЦТ при трета фаза на задна залупка.

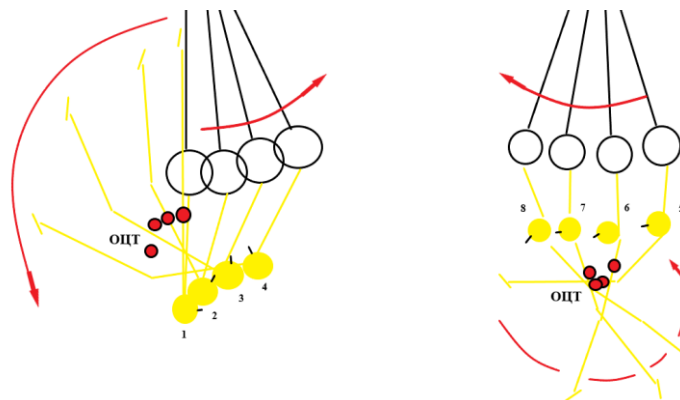


Снимки 4-5. Местоположение на ОЦТ при основна (четвърта) финална фаза на Малтийски кръст. Страничен изглед(4) и Фронтален изглед отдолу (5)



Определихме механичните оси, свързващи ставните центрове. След което изградихме кинематичните вериги при всяка една позиция, направихме графични модели на основните фази и подфази на упражнението.

Основните фази които определихме са: 1) парва фаза на мах при задна залупка; 2) фаза преминаване през вис и задмах; 3) фаза на подем и подготовка за заемане на Малтийски кръст; 4) крайна позиция на заемане на поза Малтийски кръст. Както на снимките, така и графичните модели се вижда, че проекцията на ОЦТ на гимнастика излиза извън параметрите на неговото тяло (Гавердовский, 2014). Процесът започва непосредствено след излизане от изходна позиция „обърнат вис“ (Графика 1. подфази 3 и 4) Ръцете се разтварят встрани и натискат назад, флексия в тазобедрените стави от 25-30 градуса. Подготовителна фаза придаване на ускорение на тялото, чрез изнасяне на ОЦТ извън опорната точка на хвата, което дава възможност на гравитационните сили да подействат на масата на спортиста. Следват подфази 6,7 и 8, преминаване през „виса“ тялото е изпънато и се подготвя да направи задмаха, като използва генерираната кинетична енергия. ОЦТ отново се намира в проекцията на тялото. Предстои използване на тази енергия за довършване на фазата на задна залупка, чрез разтваряне и натиск на ръцете и повдигане на тялото и краката, които се



Графика 1. Местоположение на Общия център на тежестта при първа и втора фаза на гимнастическото упражнение.

стремят да запазят изпънато положение по надлъжната ос.

Следват подфазите на подем (Графика 2. Подфази 9,10 и 11) при които надлъжната ос на гимнастика започва да се издига и да заема успоредна позиция спрямо хоризонтала. Движението се извършва в

раменните стави, като мишниците и предмишниците се стремят да запазят пълна екстензия от 0°, като същевременно извършват аддукция във фронталната равнина и придвижват опората на хвата близо до общия център на тежестта. При изпълнение на финалната фаза, заемане на поза Малтийски кръст, е необходимо да се достигне до максимална хоризонтална изометрична позиция (Виж Снимки 4 и 5), която да се задържи минимум две секунди за да бъде оценена. Всеки гимнастик има своя „формула“ за правилното изпълнение на хоризонталния кръст, но успехът се дължи на спазването на законите на механиката приложени в опорно-двигателния апарат на състезателя или в така наречената приложна биомеханика. Законите за стабилност и баланс на кинематичните системи в спортната биомеханика са

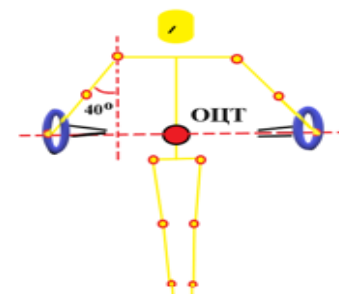


Графика 2. Местоположение на Общия център на тежестта при трета фаза на гимнастическото упражнение.

разгледани и описани от McLester & Pierre (2019) в глава 7 „System Balance and Stability“. Условие за равновесие на лост от първи род се изразява с формулата $P_1 \times r_1 = P_2 \times r_2$. На Графика 3 се вижда, че ъгловата позиция на механичната ос на мишница и предмишница трябва да сключва ъгъл от 40° с механичната ос на торса. Има състезатели и техники на изпълнение на Хоризонтален кръст, при които този ъгъл се различава, но това не е цел на настоящето изследване.

Тук трябва споменем, че преместването на ъгловата позиция на мишницата спрямо торс, ще доведе до преместване на общия център на тежестта по надлъжната ос. Респективно с намаляване на този ъгъл, ОЦТ ще се измести нагоре по хоризонтала и ще излезе от мислената линия на опората на хвата. Това ще доведе до дисбаланс в лостовата система и ще доведе до по голяма тежест в едното рамо на лоста.

Ако ОЦТ се измести извън опорната площ или в към края на което и да е рамо (r_1 , r_2), ще предизвика дисбаланс на лостовата система (кинематичната верига на гимнастика), което ще доведе до загуба на



Графика 3. Ъглова позиция на механичната ос на мишница и предмишница спрямо механичната ос на торса.

равновесие и възможно превъртане на състезателя около ОЦТ в посока напред или назад. От теорията знаем, че ако една теглова маса на човек (хармонично развит) и е равна на 100 % то : главата е 7; тяло 43 = 50 % . Крайниците са също 50 %, разпределени горни длани 1; предмишница 2; мишница 3 % умножени по 2 = 12 % . Долни крайници: ходило 2; подбедрица 5 и бедра 12 % умножени по 2 = 38 % . При наблюдение на проекцията на общия център на тежестта и местоположението на хватата, в нашия

случай, можем да заключим, че той се явява опорната точка на лоста, а механичните оси от него към главата и долните крайници – раменете на лоста. Графично изобразен, той ни показва, че рамото r_1 е по-късо от r_2 Това е така, защото в тази позиция върху първото рамо са приложени силите на масите на глава, туловище и горни крайници, което е теглова маса от 62 % спрямо масата на долните крайници от 38 %, които са приложени върху втория лост (r_2). От графиката 4 се вижда, че линията на хватата преминаваща през ОЦТ минава през долния отсек на абдоминалната стена и като малка част от торса преминава към втория лост. Ето защо е нормално да определим относителна теглова маса на рамото r_1 от 55 % и за r_2 45 %. Както казахме, движението на ръцете към и навън от торса преместват оста на въртене и създават възможност за дисбаланс в равновесието на лоста, тук усетът и координационните способности на състезателя, в едно със силовата му подготовка, ще са отговорни за запазването на статична позиция, която е условие за успешно представяне и получаване на висок спортен резултат.

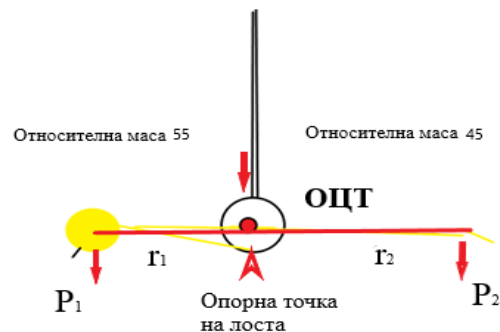
При наблюдение от страни на изпълнение на упражнението се създава впечатление, че имаме силно изразено махово движение както при висилката, но всъщност не е така. След анализ на транспозицията на общия център на тежестта се оказва, че той има минимално отклонение от опорната залавна точка на въжетата на халките. Това се дължи на подвижността на халките, те дават опора на хватата във вертикална равнина но в сагиталната равнина играят ролята на махало. Състезателя използва халките като опора, но те са подвижни в предно-задна посока. На графиката 5 се вижда, че състезателя завърта частите на тялото си около ОЦТ и той няма относително голямо отклонение от вертикалната линия, а при залупката халките се движат в диапазон 10-12° във всяка посока на движение (Гавердовски, 2014). Анализирахме видео материала и установихме амплитудата на движение на ОЦТ – ъгловото преместване е в диапазон от 270°; времетраене – упражнението изпълнено за 1.5 сек и със средна ъглова скорост от 180°/сек. Тези данни ни дадоха възможност да определим и пространствено-времевата характеристика ъглово ускорение (β), което е равно на промяната в ъгловата скорост за интервал от време, в нашия случай ние измерихме времето което ОЦТ на спортиста измина 90° във фазата на преминаване през „вис“. Превърнахме градусите в радиани и получихме стойност от 6,96 rad/s², формула (1).

Изчислихме и инерционния момент

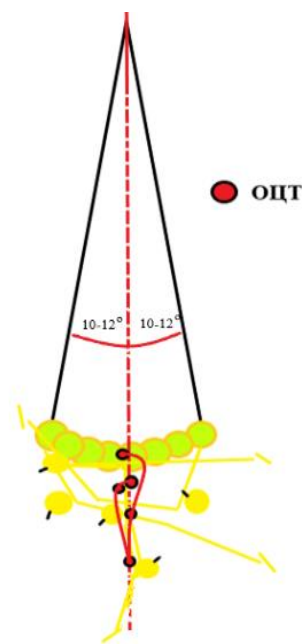
или съпротивлението, което оказва тялото при опит да бъде завъртяно или да бъде променена ъгловата му скорост (ω), в нашето изследване промяната е свързана с ъгловото ускорение на тялото на гимнастика. Използвайки формула (2) установихме стойност за инерционния момент от 53.78 kg.m², маса на състезателя, r – радиус разстоянието захвата до ОЦТ).

4. ДИСКУСИЯ

Приложението на кинематичния анализ, като изследователски метод, в



Графика 4. Лостова система от първи род в кинематиката на „Малтийски кръст“.



Графика 5. Страничен изглед на преместването на Общия център на тежестта при основните фази на упражнението.

спортната наука, е широко разпространен и приложим. Например спортните учени Semenov, Shlyakhtov & Romyantsev (2021) прилагат кинематичния анализ за да установят основните параметри на амплитуда, ъглова позиция в ставните центрове, ълови ускорения при високо разрядни спортисти и генерират модел, към параметрите на които, да се доближават технически подрастващите гимнастици.

От друга страна анализа информацията от кинематиката на поза, преместване и ъглово ускорение в гимнастиката, дават възможност за адекватна самооценка от страна на състезателите и външна оценка от съдиите (Dallas, Mavidis, & Chairpoulou, 2011). Но приоритета и ползата от получените информация трябва да дадем на треньорите, които пряко отговарят за процеса на обучение в сложно технически гимнастически елементи с подобна пространствено-времева структура (Mack, 2019). Подобни варианти на приложение на кинематичния анализ, ълови ускорения в различните стави и скорост на видове отскоци правят и Coppola, Albano, Sivoccia, & Vastola (2020). Въпреки, че анализират прескоци в гимнастиката, те също анализират подобни параметри като в настоящето изследване траектория, ълови позиции и амплитуди на движение в сегментите на тялото. Това им дава възможност за усъвършенстване на рационалната и ефективна техника на изпълнение на елементите от гимнастиката.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

След прилагане на аналитичния метод за определяне на общия център на тежестта имахме възможност да определим неговото местоположение в определените от нас фази на гимнастическия елемент „Задна заупка до Малтийски кръст“. Определихме траекторията на преместване на ОЦТ, чрез видео материала установихме амплитудата на движение на ОЦТ – ъгловото преместване е в диапазон от 270°; времетраене – упражнението изпълнено за 1.5 сек и със средна ъглова скорост от 180°/сек. Ъгловата позиция на механичната ос на мишница и предмишница трябва да сключва ъгъл от 40° с механичната ос на торса. Също така изчислихме инерционния момент (I) от 53.78 kg.m² и ъглово ускорение (β) от 6,96 rad/s². Приложението на кинематичния анализ, като изследователски метод, ни дава информация чрез която можем да анализираме и усъвършенстваме както техниката на изпълнение, така и методическата последователност в обучението на сложни пространствени упражнения (Bompa, & Buzzichelli, 2019) в спортната гимнастика.

ЛИТЕРАТУРА

- Bompa, T.O., & Buzzichelli, C., (2019). *Periodization: Theory and Methodology of Training*, (6th ed). Human Kinetics, Inc. (Verlag) ISBN 1492544809, 978-1-492544807.
- Coppola, S., Albano, D., Sivoccia, I., & Vastola, R. (2020). Biomechanical analysis of a rhythmic gymnastics jump performed using two run-up techniques. *Journal of Physical Education and Sport*, 20(1), 37-42. doi:<https://doi.org/10.7752/jpes.2020.01005>
- Dallas, G., Mavidis, A., & Chairpoulou, C. (2011). Influence of angle of view on judges' evaluations of inverted cross in men's rings. *Perceptual and motor skills*, 112(1), 109–121. <https://doi.org/10.2466/05.22.24.27.PMS.112.1.109-121>
- Гавердовский, Ю. К. (2014). *Теория и методика спортивной гимнастики*, Советский спорт, Москва, ISBN 978-5-9718-0679-0
- Kanelov, I., Martinov, N. (2023). Qualitative biomechanical analysis of the "START" element in sportmotocross. *KNOWLEDGE - International Journal*, 57(5),721-727. ISSN 2545 – 4439, ISSN 1857 – 923X.
- Mack, M. (2019). Exploring Cognitive and Perceptual Judgment Processes in Gymnastics Using Essential Kinematics Information. *Advances in cognitive psychology*, 16(1), 34–44. <https://doi.org/10.5709/acp-0282-7>
- Malíř, R., Chrudimský, J., Štefl, M., & Stastny, P. (2023). A Systematic Review of Dynamic, Kinematic, and Muscle Activity during Gymnastic Still Rings Elements. *Sports*, 11(3), 50. <https://doi.org/10.3390/sports11030050>
- McLester, J. & Pierre, P., S. (2019). *Applied Biomechanics: Concepts and Connections: Concepts and Connections*, (2nd ed.). Jones & Bartlett Learning, ISBN-1284170047, 978-1284170047
- Schärer, C., Huber, S., Bucher, P., Capelli, C., & Hübner, K. (2021). Maximum Strength Benchmarks for Difficult Static Elements on Rings in Male Elite Gymnastics. *Sports (Basel, Switzerland)*, 9(6), 78. <https://doi.org/10.3390/sports9060078>
- Semenov, D., Shlyakhtov, V & Romyantsev, A. (2021) Kinematic analysis as the basis for training strategy in gymnastics, *BIO Web Conf.*, Volume 29, International Conference “Sport and Healthy Lifestyle Culture in the XXI Century” (SPORT LIFE XXI), <https://doi.org/10.1051/bioconf/20212901012>