

КОМИСИЈА ЗА ОЦЕНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА

Предмет: Извештај комисије о прегледу и оцени докторске дисертације Немање Злојутро (бр. Индекса 5009/2017), студента са програма докторских академских студија.

Наставно-научно веће Универзитета у Београду – Факултета спорта и физичког васпитања на 11. седници одржаној 8. маја 2025. године, у складу са чланом 32. Правилника о докторским академским студијама – *пречишћен текст* (02-бр. 532/22-4 од 9. новембра 2022. године), и чланом 41-43 Статута Универзитета у Београду – Факултета спорта и физичког васпитања – *пречишћен текст* (02-бр. 151/24-8 од 19. децембра 2024. године), на предлог Већа докторских академских студија (02-бр. 5/25-9 од 29. априла 2025. године) донело је Одлуку о формирању Комисије за оцену докторске дисертације студента докторских академских студија Немање Злојутро, под називом: **”Акутни ефекти брзих ексцентричних контракција са различитим величинама оптерећења на манифестацију постактивацијске потенцијације”**. Комисија је формирана у саставу:

1. Др Дејан Сузовић, редовни професор, Универзитет у Београду – Факултет спорта и физичког васпитања, председник комисије,
2. Др Марко Ћосић, доцент, Универзитет у Београду – Факултет спорта и физичког васпитања, члан,
3. Др Филип Кукић, доцент, Универзитет у Бања Луци – Факултет физичког васпитања и спорта, члан,

Докторска дисертација је завршена под надзором:

1. Др Александар Недељковић, редовни професор, Универзитет у Београду – Факултет спорта и физичког васпитања,

Након прегледа достављеног материјала Комисија подноси наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

Кандидат Немања Злојутро предао је финалну верзију своје докторске дисертације под називом **”Акутни ефекти брзих ексцентричних контракција са различитим величинама оптерећења на манифестацију постактивацијске потенцијације”** архиви Факултета 11. априла 2025. Године. Докторска дисертација садржи 71 страна, 3 табеле, 8 графикана, 3 слике и листу од 178 референци коришћених у раду. Докторска дисертација је урађена у потпуности у складу са Правилником о докторским студијама Факултета спорта и физичког васпитања, као и са Упутством о формирању репозиторијума докторских дисертација који је усвојио Сенат Универзитета

у Београду. Написана је на српском језику и садржи: насловну страну на српском и енглеском језику, страницу са ментором и члановима комисије, изјаву захвалности на српском језику, резиме на српском и енглеском језику, листу скраћеница, садржај и главна поглавља: Увод; Факторе постаивацијске потенцијације; Неуромишићне основе концентричне контракције; Досадашња истраживања; Проблем, предмет, циљ и задаци истраживања; Хипотезе истраживања; Метод истраживања; Резултати истраживања; Дискусија; Закључак; Литература, као и додатне документе који су наведени на крају овог извештаја.

Биографски подаци:

Немања Злојутро рођен је 15.08.1988. године у Сиску (Хрватска). Основну школу и гимназију завршио је у Козарској Дубици (Република Српска). Дипломирао је на Факултету физичког васпитања и спорта Универзитета у Бањој Луци 2011. године као најбољи студент генерације и на основу тога добио је "Златну плакету" Универзитета у Бањој Луци. Мастер рад је одбранио на Универзитету у Бањој Луци 2015. године. Тренутно је студент докторских студија на Факултету спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду на програму "Експерименталне методе истраживања људске локомоције"- модул: Примењена истраживања људске локомоције.

Од 2012. године ради као кондициони тренер при чему је стекао знања и искуства у раду у неколико колективних и индивидуалних спортова: фудбал, кошарка, рукомет, триатлон, кик-бокс и ауто-мото спорт. Предмет интересовања су му законитости развоја моторичких способности, а посебно неурофизиолошки ефекти постаивацијске потенцијације и примена микро ГПС технологија у спорту.

Од 2015. године Немања Злојутро запослен је на Факултету физичког васпитања и спорта Универзитета у Бањој Луци у звању вишег асистента. На поменутом факултету предаје на предметима Основе Антропомоторике, Кондициона припрема и Кондициона припрема у колективним спортовима. Немања је објавио неколико научних радова те присуствовао на бројним научним и стручним скуповима у земљи и иностранству.

Објављени научно-истраживачки радови:

Zlojutro, N., Kukić, F., Petrović, B., Joksimović, M., Kukrić, A., Marković, S. & Nedeljković, A. (2025). Acute Effects of Fast Eccentric Contractions With Different Load on The Postactivation Potentiation, *Kinesiologica Slovenica*, 31,2, 34-50, ISSN 1318-2269

Kukić, F., **Zlojutro, N.,** Paspalj, D., Bajić, S., Kovačević, S., Vulin, L., Rađević, N., Koropanovski, N. (2024). Effects of Specific RAMP Protocol Phase on Change of Direction Speed of Police Students, *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, Vol. 9, No. 4.

Kukrić, A., **Zlojutro, N.,** Orr, R. M., Joksimović, M., & Kukic, F. (2024). Isokinetic profiles of hamstring and quadriceps muscles in the police special force operators. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 13(1), 45-50.

Zlojutro, N., Eler, S., Joksimović, M., Eler, N., Marković, S., Kukrić, A. & Goranović, K. (2023). Kinematic parameters and metabolic power in elite soccer players: A small sided a large sided games comparison. *Frontiers in Physiology*, 14.

Anđelić, M., Joksimović, M., Kukrić, A., Nikšić, E., D'Angelo, S., **Zlojutro, N.**, Iryna Skrypchenko & Čeremidžić, D. (2021). Body height, body mass, body mass index of elite basketball players in relation to the playing position and their importance for success in the game. *Acta kinesiologica*, 15(2), 74-79.

Joksimovic, M., Goranović, K., Kukrić, A., Nikšić, E., Grgić, L. & **Zlojutro, N.** (2023). Differences between functional movement screen and somatotype to young handball and volleyball players. *Physical Education and Human Movement*, 5(1), 1-11.

Streetman, A. E., Paspalj, D., **Zlojutro, N.**, Božić, D., Dawes, J. & Kukic, F. (2022). Association of Shorter and Longer Distance Sprint Running to Change of Direction Speed in Police Students. *Nauka bezbednost policija* 27 (1).

Kukrić, A., Joksimović, M., Petrović, B., **Zlojutro, N.** & Dobraš, R. (2022). Relations of muscle strength and body mass when performing different vertical jumps. *Trends in Sport Sciences*, 29, (1).

Zlojutro, N., Petrović, B., Kukrić, A. & Dobraš, R. (2020). The analysis of high-intensity running performances in BHT Premier League of Bosnia and Herzegovina matches. *Homosporticus*, 22 (1).

Petrović, B., Kukrić, A., Dobraš, R. & **Zlojutro, N.** (2019). Isometric muscle force as a predictor of a maximal muscle effort in the leg press test. *Sportlogia*, 15 (1).

Структура докторске дисертације:

Докторска дисертација обухвата 10 поглавља и литературу која је наведена у дисертацији. За писање дисертације кандидат је користио 178 референци.

У **Уводу** кандидат упознаје са применом тренажних метода за развој јачине и снаге и наглашава значај Пост-Активацијске Потенцијације (ПАП) у развоју снаге у појединим вежбама и методама. Наглашава да се у тренажној пракси претходно описан метод назива и контрастни тренинг или комплексна метода у чијој основи лежи претходно поменути физиолошка појава. Овај феномен је од великог интереса за спортску науку и тренинг, јер може значајно унапредити перформансе у различитим спортским дисциплинама (Beato, et. al. 2019). Упркос налазима који потврђују ефикасност протокола ПАП-а у акутном побољшању спортских перформанси, научници су увели нови појам, постакивацијско повећање перформанси (енгл. postactivation performance enhancement - PAPE), који је уведен с циљем да се јасно разграниче чисто физиолошки механизми потенцијације од оних који доводе до стварног, мерљивог побољшања спортског извођења (Blazevich & Babault, 2019). Овај концепт узима у обзир и факторе као што су повећање телесне температуре, вискозности мишића, повећање амплитуде покрета, као и промене у осећају напора, што све заједно доприноси бољем извођењу, иако механизми не морају бити искључиво последица неурофизиолошке

потенцијације (Cuenca-Fernández i sar., 2017). Иако је ефекат ПАП потврђен у великом броју студија још увек постоје дилеме: врста контракције, величина оптерећења, брзина савладавања оптерећења, а самим тим и брзина контракције код извођења вежби активације као и пауза између вежби. ПАП се дефинише као физиолошки феномен који доводи до акутног повећања силе у мишићу као резултат његове претходне активације (Borba, et al., 2017; Dello, Martone & Padulo, 2016). На основу досадашњих истраживања претходна активација или претходни потенцијацијски подражај (ПП) представља извођење вежбе која је биомеханички иста или слична покрету и кретању које се изводи након вежбе с оптерећењем, али без оптерећења и која представља претварајућу вежбу (ПВ) која је најчешће плиометријског карактера. На основу тога кандидат наглашава да је суштина ПАП-а у дејству већих оптерећења која узрокују висок степен нервне стимулације, што резултира укључивањем већег броја моторних јединица и већом фреквенцијом нервних импулса (Перић & Петровић, 2015). Претварајуће вежбе су најчешће експлозивне, плиометријске или брзинске природе, као пример могуће је навести скок, спринт или бацање, а бирају се тако да одражавају природу покрета који се тренира (Cormier i sar., 2022). Ефекти ПАП-а се могу изазвати и у лабораторијским условима помоћу максималних изометријских контракција, као и пост-тетаничких контракција изазваних електромиомишићном стимулацијом (Baudry & Duchateau, 2007). У спорту је најчешћи облик индукције ПАП-а путем ексцентрично-концентричних контракција, јер оне омогућавају високи интензитет уз биомеханичку специфичност (Sale, 2002). Најчешћи тренажни протоколи за изазивање ПАП-а су контрастни тренинг и комплексна метода.

У објашњавању физиолошких механизма постаktivацијске потенцијације кандидат наводи да су за бољу и ефикаснију примену ПАП одговорни: фосфорилација регулацијских лакших ланаца миозина, повећана активација моторних јединица вишег реда и промена угла пенације. Приказујући разлике између ПАП и ПАПЕ наглашено је да постаktivацијска потенцијација (ПАП) и постаktivацијско повећање перформанси (ПАПЕ) представљају две повезане, али различите физиолошке адаптације које настају као одговор на претходну контракцију високог интензитета (Приеске и сар., 2020). Иако оба феномена укључују краткотрајно унапређење неуромускуларне функције, оне се разликују у временској димензији, основним механизмима деловања и контексту примене, што има директне импликације на област спортског тренинга и научних истраживања.

У поглављу 2. под насловом **Фактори постаktivацијске потенцијације** кандидат наводи који су фактори који утичу на ПАП. На основу ранијих истраживања емпиријски је потврђено да феномен ПАП нема једнаке ефекте на различите особе, односно да постоје велике разлике у величини испољавања ПАП ефекта на које утичу различити фактори и параметри (Xenofondos et al., 2010; Evetovich et al., 2015) Према анализи досадашњих радова величина ПАП ефекта највише зависи од баланса између замора и потенцијације, односно од периферних фактора који се односе на мишићни систем и централних фактора који се односе на неуралну (ЦНС) компоненту (Raisser & MacIntosh, 2000). Тај однос зависи од: утренираности, величине спољашњег оптерећења у вежби ПП и паузе између ПП вежбе и ПВ вежбе. Ранија истраживања потврдила су да контракција мора да буде максималног или субмаксималног интензитета (Rixon, Lamont

& Bemben, 2007), међутим могуће је користити и мала и средња оптерећења за активирање ПАП-а.

Ниво утренираности показао се као веома важан фактор на испољавање пост-активацијске потенцијације. Спортисти са дужим тренажним стажом могу да активирају већи број моторних јединица у односу на неутрениране особе (Schmidtbleicher & Buehrle, 1987; Kilduff et al., 2007), односно да такве особе имају способност испољавања веће максималне силе и остварење веће вредности у висини вертикалног скока након вежбе ПП у односу на особе које могу да генеришу мање вредности максималне мишићне силе. Други важан фактор у испољавању ПАП су типови мишићних влакана тополошке регије која је укључена у протокол. Поред генетских чинилаца на њега могу да утичу старост и утренираност појединца. Показано је да постоје значајне разлике између полова када је реч о манифестацији ПАП-а, а ове разлике су повезане са физиолошким, хормонским и неуралним факторима (Tillin & Bishop, 2009). Наиме, мушкарци имају већу мишићну масу у односу на жене што директно може да утиче на генерисање силе и брзине прираста силе код експлозивних покрета (Hamada et al., 2000). Претходно наведено је уско повезано са већом количином брзих мишићних влакана типа 2 код мушкараца.

Трајање контракције током активације може значајно утицати на способност мишића да генерише снагу, као и на ефикасност регрутације моторних јединица. Максимална потенцијација мишића је највећа након 5-10 сек максималне вољне изометријске контракције (Hamada et al. 2000; Baudry & Duchateau, 2004; Shima et al., 2006; Paasuke et al. 2007; Xenofondos, et al., 2010) и опада с временом. Теорија ПАПа претпоставља да савладавање додатног спољашњег оптерећења у вежби предоптерећења може у наредној контракцији да повећа ниво мишићне снаге, посебно градијент силе, који одређује брзину прираштаја силе. Пауза између вежбе ПП и ПВ спада међу кључне факторе који утичу на ПАП (Chen et al., 2023). Највећи ефекти у висини скока након вежбе потенцијације јављају се између 3 и 9 минута (Bauer et al., 2019; Beato et al., 2019; Beato, Stiff & Coratella, 2021). Висина скока са почучњем била је статистички значајно већа након 2 и 6 минута у односу на 12 минута паузе.

У трећем поглављу под насловом **Неуромишићне основе ексцентричне контракције** кандидат упознаје са неурофизиолошким аспектима ексцентричне контракције, Биомеханичким аспектима ексцентричне контракције, Ефектима ексцентричног тренинга на мишићну јачину, снагу и хипертрофију и Ексцентричним контракцијама као фактору модулације ПАП - Досадашњим налазима се дошло до индиција да физиолошки фактори играју кључну улогу при генерисању велике силе током ексцентричне мишићне контракције. Конкретно се мисли на архитектуру, односно, структуру и рад саркомере, функционалне јединице мишићних влакана. Са аспекта биомеханичких карактеристика ексцентричне мишићне контракције изазивају значајно већу активацију великих моторних јединица и брзих мишићних влакана типа 2, што може допринети повећању максималне јачине и снаге (Schoenfeld, 2010; Wagle i sar., 2017; Wallace i sar., 2018). С обзиром да у мишићу постоји велики број моторних јединица до сада је познато да апсолутна мишићна сила зависи од броја, фреквенције и синхронизације ангажованих моторних јединица (Јарић, 1997). Адаптација мишића је пропорционална механичком раду те је примећен већи одговор на тренинг у коме се користила само ексцентрична контракција, посебно када су у питању параметри снаге

(Викне и сар., 2006). Ефекти ексцентричног тренинга на мишићну јачину, снагу и хипертрофију - Студије о ефектима ексцентричног тренинга на мишићну јачину, снагу и хипертрофију сугеришу да ексцентрични режим оптерећења може резултовати већим повећањем снаге и хипертрофије у односу на концентрични тренинг. Да ексцентрични тренинг доводи до већег повећања снаге него што је то случај код концентричног тренинга потврдили су Викне и сарадници (2006). Ексцентрични тренинг може изазвати специфичне неуралне адаптације, као што су повећана активација високопражних моторних јединица што опет позитивно утиче на испољавање поменутих моторичких способности (Douglas i sar., 2017). Ексцентричне контракције играју значајну улогу у манифестацији ПАП ефекта захваљујући својој способности генерисања високих сила уз релативно нижи енергетски трошак и мањи акутни замор. Коришћењем ексцентричних покрета могуће је применити снажан кондиционирајући стимулус који резултира израженијим ПАП ефектом (Добс и сар., 2019).

У **Досадашњим истраживањима** која чине поглавље 4 кандидат указује да се највећи део истраживања на тему утицаја различити мишићних контракција на ПАП односио на динамичке мишићне режиме рада (Vargas-Molina et al., 2021). Ипак постоје и докази да манифестацију ПАП може изазвати и изометријска мишићна контракција. Посебно су се показале ефикасним изометријске вежбе код особа са високим нивоом генерисања силе. Изометријске мишићне контракције са интензитетом 80–90% од 1ПМа могу побољшати перформансе у скоковима и спринту, међутим, величина ефекта зависи од трајања изометријске контракције и периода одмора (Pritchard & Roberts, 2015).

Студије које су се бавиле испитивањем утицаја различитих протокола на ефекте ПАП-а најчешће су користиле традиционалне вежбе са оптерећењем као вежбе потенцијације. У радовима су биле анализиране различите контракције, динамичка (ексцентрично-концентрична) и ексцентрична, као и различит интензитет оптерећења и брзине контракција. Највећи број студија испитивао је утицај субмаксималних оптерећења на испољавање ефекта ПАП-а како би се установило да је механизам постактивацијске потенцијације могуће значајно побољшати кроз динамички режим рада у вежби потенцијације. Истраживања су показала да динамичке контракције са субмаксималним оптерећењем, поред акутног повећања висине ЦМЈ-а путем ПАП-а, доводе и до хроничних адаптација које побољшавају експлозивну снагу (Tillin & Bishop, 2019). Позитивни ефекти на ПАП, односно на висину ЦМЈ-а, могу се јавити и након примене умерених оптерећења показано је резултатима неколико студија. Студије које су истраживале утицај ексцентричног мишићног режима рада, на ПАП ефекте користили су различите реквизите и средства попут традиционалне вежбе са супрамаксималним оптерећењем (енгл. eccentric overload - ЕОЛ), (Wagleyi sar., 2017); изоинерцијалне машине (енгл. flywheel), (Беато и сар., 2021a); експандера или еластичних трака (Абодарда и сар., 2013); кориговање спољашњег оптерећења у току самог рада од стране тренера или помоћника (енгл. accentuated eccentric load- АЕЛ), (Тсенг и сар., 2021; Ditch, 2024); скокови у дубину (Bridgeman и сар., 2017); те испуштање оптерећења на крају ексцентричне фазе скока (Sheppard и сар., 2008). Најчешћи вид потенцијације са коришћењем ексцентричних оптерећења вршен је методолошким принципом акцентованих ексцентричних контракција (АЕЛ). Појам АЕЛ представља методу која омогућава примену динамичких покрета кроз читав циклус

ексцентрично-концентричне контракције, при чему се у ексцентричној фази користе већа оптерећења, док се у концентричној користе мања оптерећења (Ditch, 2024). Неколико студија је приказало да је АЕЛ метода супериорнија на акутно повећање висине ЦМЈ-а у односу на традиционалне методе (Патус, 2021; Тсенг и сар., 2021). Супрамаксимално ексцентрично оптерећење 120% од 1РМ-а и умерено оптерећење 65 % од 1РМ-а у концентричној фази могу да се користе у вежби предњи чучањ ради повећања излазних перформанси у концентричној фази покрета (Мериган и сар., 2021). Потенцијацију получучњем кроз ексцентричну фазу користили су Krzysztofik и сарадници (2023а) за изазивање позитивних ефеката на ПАП. Утицај малих оптерећења примењених путем АЕЛ протокола на индукцију постаktivацијске потенцијације истраживан је у релативно малом броју студија. Досадашњи налази показали су да овакав тип тренинга има утицај на брзо померање тешких ланаца миозина које утиче на побољшања код испољавања силе односно јачине и снаге (Ojasto & Häkkinen, 2009; Friedmann-Bette i sar., 2010; Walker i sar., 2016). Неколико студија је користило спољашње оптерећење у процентима у односу на телесну масу испитаника.

Иако протоколи потенцијацијског подражаја ексцентричном мишићном контракцијом показују потенцијалне акутне ефекте на манифестацију ПАП-а, ипак постоји недостатак консензуса у погледу оптималних параметара, укључујући брзину ексцентричне контракције, величину оптерећења и дужину паузе. Поред тога већина постојећих истраживања фокусира се на акцентовану ексцентричну мишићну контракцију док је веома мали број студија које испитују потенцијалне ефекте изоловане ексцентричне потенцијације на ПАП.

У поглављу 3 кандидат објашњава **утицај тренинга са применом ексцентричног режима** контракција, који постаје све већи предмет научних истраживања. Истраживања су показала да ексцентрични тренинг може да изазове специфичне адаптације које нису увек присутне у концентричном или изометријском режиму рада мишића (Douglas, Pearson, Ross, & McGuigan, 2017). Скелетни мишићи имају могућност генерисања веће релативне силе током ексцентричне мишићне контракције у односу на концентричну и изометријску мишићну контракцију и то чак 50% већа сила код максималне ексцентричне контракције у односу на концентричну. Студије су показале да ексцентричне мишићне контракције изазивају значајно већу активацију брзих мишићних влакана типа 2, што може допринети повећању максималне силе и снаге (Schoenfeld, 2010; Wallace et al., 2018). Такође, ексцентрични тренинг повећава способност мишића да апсорбује силу приликом контакта са подлогом, што је важно за превенцију повреда, нарочито у спортовима где се развијају велике силе реакције подлоге у самом контакту са њом (Guilhem et al., 2016). Све ово наведено навело је аутора на размишљање да ли се са применом малих и умерених оптерећења брзих мишићних контракција могу произвести позитивни ефекти на Пост-Активацијску Потенцијацију.

У поглављу 5 као **Проблем истраживања** кандидат наводи да постоји неконзистентно мишљење када су у питању оптерећења и режим рада мишића у вежби предоптерећења на ефекте испољавања ПАП. Указује да је било потешкоћа у систематизацији досадашњих научних истраживања и њихови закључака, као и на мали број истраживања чија тема су била брзе и наглашене ексцентричне контракције у вежби

потенцијације. На основу тога поставио је **Предмет истраживања** који треба да утврди акутне ефекте различитих режима рада мишића и величина оптерећења на Пост-Активацијску Потенцијацију.

На основу дефинисаног проблема и предмета истраживања постављени су **циљеви истраживања**:

1. Испитати утицај оптерећења од 90% од 1 ПМ кроз ексцентрично-концентричну контракцију на манифестацију пост активацијске потенцијације.
2. Испитати утицај оптерећења од 60% од 1 ПМ кроз брзу ексцентричну контракцију на манифестацију пост активацијске потенцијације.
3. Испитати утицај оптерећења од 40% од 1 ПМ кроз брзу ексцентричну контракцију на манифестацију пост активацијске потенцијације.

У поглављу 6. на основу прегледа досадашње литературе и у складу са предметом и циљевима ове студије дефинисане су 4 **хипотезе истраживања**.

X1 - Оптерећење од 90% од 1PM-а кроз ексцентрично-концентричну контракцију у вежби чучањ значајно утиче на акутно повећање висине вертикалног скока с припремом.

X2 - Оптерећење од 60% од 1PM-а кроз брзу ексцентричну контракцију у вежби чучањ значајно утиче на акутно повећање висине вертикалног скока с припремом.

X3 - Оптерећење од 40% од 1PM-а кроз брзу ексцентричну контракцију у вежби чучањ значајно утиче на акутно повећање висине вертикалног скока с припремом.

X4 - Оптерећење од 90% кроз ексцентрично-концентричну контракцију и 60% од 1ПМ-а кроз брзу ексцентричну контракцију у вежби чучањ значајно више утичу на акутно повећање висине вертикалног скока с припремом у односу на оптерећење од 40% од 1ПМ-а кроз брзу ексцентричну контракцију.

За остварење постављених циљева и проверу хипотеза истраживања кандидат је реализовао следеће задатке:

1. Прегледао и анализирао до сада коришћене протоколе потенцијације, оптерећења, режима рада мишића и паузе.
2. Прегледао и анализирао до сада коришћене протоколе за процену 1PM-а у чучњу, и варијабле за процену ефеката постактивацијске потенцијације.
3. Обезбедио потребну документацију пре тестирања (одобрење етичке комисије Факултета физичког васпитања и спорта, Универзитета у Бањој Луци, одобрење продекана за науку за коришћење факултетске опреме и инструментарија, сагласност испитаника са протоколом тестирања);
4. Упознао испитанике са протоколом истраживања;
5. Извршити процену телесне композиције и мерење антропометријских карактеристика испитаника;
6. Упознао испитанике са правилном техником извођења чучња на смит машини и техником вертикалног скока са почучњем;
7. Извршио процену телесне композиције и мерење антропометријских карактеристика испитаника;
8. Извршио статистичку анализу добијених података;
9. Приказао и интерпретирао резултате истраживања.

Поглавље 7 има назив **Методe истраживања** и у њему се наводи да је узорак испитаника чинило 22 студента мушког пола, 11 студената Факултета Физичког Васпитања и Спорта и 11 студената Факултета Безбедносних наука, Универзитета у Бањој Луци, старости 19 до 22 године. Наводе се критеријуми за укључивање и за учешће у тестирању.

Истраживање је било пре-експерименталног дизајна. Сва мерења су спроведена у оквиру 4 одвојене сесије са по 7 дана паузе између сваке сесије. Антропометријска мерења и процена 1 ПМ у вежби чучањ на Смит машини извршена су у оквиру прве сесије. Тестирање акутних ефеката, различитих “предоптерећења” у чучњу и кроз различите режиме рада мишића на кинематичке параметре скока са почучњем, односно, пост-активацијску потенцијацију извршено је у оквиру друге, треће и четврте сесије. У оквиру друге сесије коришћено је оптерећење од 90% од 1 ПМ у чучњу кроз режим рада динамичке, ексцентрично-концентричне контракције. У трећој сесији коришћено је предоптерећење од 60% од 1 ПМ у чучњу кроз режим рада брзе ексцентричне контракције, док је у четвртој сесији коришћено предоптерећење 40% од 1 ПМ у чучњу кроз режим рада брзе ексцентричне контракције.

Тестирања су реализована на Институту за спорт у лабораторији за биомеханику при Факултету Физичког Васпитања и Спорта Универзитета у Бањој Луци. У оквиру прве сесије испитаници су након упознавања са протоколом приступали антропометријским мерењима висине тела стадиометром SECA 206 (Немачка) са прецизношћу од 0,5 цм и композиције тела биоелектричном импеданцом Танита БЦ-418МА. Процена 1 ПМ у чучњу кроз динамички режим рада реализована је у лабораторијским условима на модификованој Смит машини која је конструисана за потребе ове студије према стандардним димензијама. Чучањ је извођен са паралелно постављеним стопалима мало шире од ширине кукова са дубином до 90° у зглобу колена.

Испитаници су изводили укупно 12 понављања, са 5 различитих оптерећења 50, 60, 70, 80 по 3 понављања и 90% - 1 понављање у односу на 1 ПМ који је сваки испитаник пријавио пре самог тестирања. Од испитаника је захтевано да свако понављање изврше максималном могућом брзином док их је и истраживач додатно вербално мотивисао. Просечна вредност 1РМ-а била је 148.4 ± 20.4 кг.

За процену кинематичких параметара чучња коришћен је линеарни енкодер (Hontko HPSM1, New Taipei City 23545, Тајван) који је био причвршћен за унутрашњи део шипке и током кретања шипке и оптерећења бележена је крива која представља промену висине шипке у времену са фреквенцијом од 1000 Хз. Деривацијом сигнала помоћу написаног рачунарског програма (National Instruments LabVIEW, 2010, Austin, TX, USA) добијени су резултати промене брзине током времена, промене силе током времена, односно, промене снаге током времена.

Процена ефеката ПАП извршена је у оквиру друге, треће и четврте сесије и то на основу резултата кинематичких параметара: максимална висина скока; претеста и посттеста, скока из мјеста са изолованим рукама на куковима, (Скок са почучњем). Мерење кинематичких параметара скока извршено је употребом инфрацрвеног уређаја (*OptoGait*, Microgate, Bolzano, Italy), стандардном процедуром. *OptoGait* је напредни

систем за анализу хода, трчања и скокова односно, механике кретања, који користи оптичке сензоре за прецизно мерење различитих кинетичких параметара.

Експериментална процедура спроводила се тако да су после претходно поменутог загревања сви испитаници извели иницијални претест ЦМЈ-а са 3 понављања, где је најбољи резултат коришћен за даљу анализу. Након паузе од 3 минута приступило се извођењу вежбе потенцијације чучањ, 3 понављања са ЕЦ90 % за динамичку контракцију која се изводила у оквиру друге сесије. Потенцијација у трећој и четвртој сесији изводила се са ЕЦ60%, односно ЕЦ40%, са брзим спуштањем кроз ексцентричну фазу. Након вежбе потенцијације следила је пауза од 6 минута пасивног карактера а затим извођење посттеста ЦМЈ-а са 3 понављања где се такође најбољи резултат узимао за даљу анализу.

Када је реч о статистичкој обради података Дескриптивни показатељи су представљени: средњом вредношћу (СВ), стандардном девијацијом (СД), минималном (МИН), максималном вредности (МАХ), коефицијентом варијације (ЦВ) и стандардном грешком мерења (СЕМ).

Анализа ефеката различитих врста надражаја на ефекте постактивацијске потенцијације добијена је на основу Студентовог т-теста за зависне узорке. Утицај потенцијације на висину ЦМЈ-а, односно разлике између претеста и сваке појединачне серије у посттесту утврђене су применом униваријантне анализе варијансе са поновљеним мерењима (АНОВА) са Бонферони корекцијом. Величине ефекта (ЕС) за сваки протокол представљене су ета квадратом, а величина парцијалног ефекта приказана је помоћу Коеновог коефицијента. Све статистичке процедуре су извршене помоћу ЈАСП статистичког софтвера (верзија 0.18.3, Амстердам, Холандија) а ниво статистичке значајности је постављен на $p < 0.05$. За анализу поузданости линеарне регресије код процене 1РМ-а коришћен је Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA).

У поглављу 8. добијени **Резултати** истраживања, указују да подаци не одступају значајно од нормалне дистрибуције, што оправдава примену параметријских статистичких анализа. Дескриптивна анализа показала је да средње вредности (СВ) вертикалног скока претеста и посттеста, након примене све три врсте надражаја, показују тенденцију повећања. Највећи распон примећен је након потенцијације са ЕСС90%, што може указивати на већу варијабилност одговора на субмаксимална оптерећења. Супротно томе, најмањи распон забележен је након ЕС40%, што говори о уједначенијем ефекту на висину ЦМЈ-а при малим оптерећењима. Коефицијент варијације (ЦВ) показује релативно ниске вредности (0.09-0.12), што указује на поузданост и стабилност мерења у свим експерименталним сесијама. Све три врсте потенцијације резултирале су статистички значајним повећањем висине ЦМЈ-а: ЕСС90% ($F = 33.27, p < 0.001, \eta^2 = 0.63$), ЕС60% ($F = 16.53, p < 0.001, \eta^2 = 0.46$) ЕС40% ($F = 4.99, p < 0.05, \eta^2 = 0.20$).

Пост хок анализом утврђено је да су потенцијације, ЕСС90% (131.6 ± 17.2 kg) и ЕС60% (88.7 ± 11.8 kg) имале статистички значајан утицај на висину ЦМЈ-а након све три серије (Табела 2). Просечна висина ЦМЈ-а након потенцијације са ЕСС90% повећала се за 2.81 ± 1.08 cm, што је еквивалентно побољшању од 7.3%. Након анализе појединачних серија, просечно повећање висине вертикалног скока након прве серије

износило је 1.5 цм или 3.8% и малом величином ефекта ($ES = 0.29$). Повећање висине ЦМЈ-а након друге серије је износило 1.8 цм или 4.6% са такође, малом величином ефекта ($ES = 0.35$). Висина вертикалног скока је била већа након треће серије за 2.6 цм што одговара побољшањима од 6.6% уз умерену величину ефекта ($ES = 0.51$), док се просечна висина ЦМЈ-а након треће серије значајно разликује у поређењу са висинама скока након прве ($p = 0.002$) и друге серије ($p = 0.038$), док између висина скока након прве и друге серије нема значајне разлике.

Слично као и након ЕСС90%, потенцијација умереним оптерећењем уз брзу ексцентричну контракцију, ЕС60%, изазвала је значајне разлике након све три серије. Просечно повећање висине ЦМЈ-а износило је 2.45 ± 0.8 цм, што представља 6.8%, док су повећања након појединачних серија била 1.2 цм, 1.6 цм и 1.9 цм, што одговара побољшањима од 3%, 4% и 4.7% и малим величинама ефекта ($ES = 0.28, 0.37$ и 0.44), након прве, друге и треће серије, редоследом, при чему разлике у висини вертикалног скока између серија нису биле статистички значајне.

У односу на претходне две врсте потенцијације, мало оптерећење, ЕС40% (60.1 ± 10 кг) са брзом ексцентричном контракцијом изазвало је најмање ефекте на просечну висину ЦМЈ-а, са повећањем од 1 ± 0.3 цм, односно 2.5%. Поред тога, ЕС40% потенцијација није имала значајан ефекат на висину ЦМЈ-а након прве две серије. Након треће серије, висина вертикалног скока била је значајно већа за 0.8 цм или 2% у односу на претест али уз тривијалну величину ефекта ($ES = 0.17$), при чему се просечна висина скока није значајно разликовала између серија у посттесту. Резултати су показали да се разлике претеста и највеће висине вертикалног скока у посттесту, код све три потенцијације, значајно разликују, односно да су различити интензитети довели до статистички значајних разлика.

Разлика од 0.36 цм добијена је приликом поређења (Δ ЕСС90%) и (Δ ЕС60%), уз умерену величину ефекта и статистичку значајност $p < 0.05$. На основу чега може да се уочи да је у већини случајева постигнута већа вредност ЦМЈ-а након примене ЕСС90% у односу на вредности добијене са ЕС60%, што указује на израженији ефекат потенцијације при субмаксималном интензитету. Приказ индивидуалних разлика показује да је већина испитаника остварила позитивну промену ЦМЈ-а након ЕЦЦ90% потенцијације, што додатно потврђује његову супериорност у индукцији ПАП ефекта.

Сви испитаници остварили су знатно већу висину скока након примене ЕСС90% потенцијације, док су промене након ЕС40% биле знатно мање изражене и у већем броју случајева блиске нултој вредности. Разлика између ових врста потенцијације у прирасту висине ЦМЈ-а од 1.81 цм потврђена је и са веома великом величином ефекта. Висина ЦМЈ-а је била значајно већа после потенцијације ЕС60% него са ЕС40%. Сви испитаници остварили су просечно већи пораст висине вертикалног скока након ЕС60%, што потврђују приказане индивидуалне разлике уз изузетно велику величину ефекта (1.45 цм).

У поглављу 9. под насловом **Дискусија** кандидат наглашава да је ово истраживање било дизајнирано да испита утицај три различите врсте потенцијације на акутне ефекте висине вертикалног скока (ЦМЈ) код студената. Резултати експерименталне процедуре показали су да (1) потенцијација са субмаксималним динамичким (ЕСС90%) оптерећењем има позитивне акутне ефекте на висину

вертикалног скока, (2) умерено (ЕС60%) и (3) мало (ЕС40%) оптерећење кроз брзу ексцентричну контракцију доводи до акутног повећања висине ЦМЈ-а, и на крају, (4) потенцијације субмаксималним динамичким (ЕСС90%) и умереним (ЕС60%) оптерећењем кроз брзу ексцентричну контракцију имају већи акутни ефекат на висину ЦМЈ-а у поређењу са малим ЕС40% оптерећењем са брзом ексцентричном контракцијом. Емпиријски подаци ове студије су показали да су све три потенцијације значајно, акутно, утицале на висину вертикалног скока с припремом.

Резултати ове студије показали су значајан акутни ефекат примене оптерећења 90% од 1РМ-а кроз ексцентрично-концентричну контракцију (ЕСС90%) на повећање висине вертикалног скока с припремом чиме је потврђена прва хипотеза ове студије да потенцијација кроз динамичку мишићну контракцију са оптерећењем 90% од 1РМ-а, акутно утиче на повећање висине ЦМЈ-а. Налази ове студије су у складу са резултатима претходних истраживања која су испитивала ефекат субмаксималних оптерећења на ПАП јер је показано да су механизми који објашњавају позитиван утицај субмаксималног оптерећења засновани на акумулацији повољних неуромишићних промена након потенцијације (Ebben, 2006). Сматра се да ове адаптације резултирају повећаном ефикасношћу формирања попречних мостова између актинских и миозинских филамената, током сваке наредне мишићне контракције истог мишића. Додатно, активација брзих мишићних влакана типа 2 се појачава после субмаксималних напрезања ексцентрично-концентричном контракцијом.

Значајан налаз у овом истраживању јесте да се најизраженији ПАП ефекат, на висину вертикалног скока након потенцијације са ЕСС90%, десио након треће серије, док су прве две серије имале релативно мале ефекте. Серијска прогресивна повећања просечне висине ЦМЈ-а указују да кумулативни ефекат поновљених серија може довести до већег повећања експлозивне снаге. Резултати су у складу са студијом коју су урадили Seitz и сарадници (2016), у којој је показано да вишеструке серије високог оптерећења доводе до значајнијег ПАП ефекта у поређењу са једном серијом. Овакав налаз је практично значајан и сугерише да тренери треба да планирају вишеструке серије са субмаксималним оптерећењем како би појачали ПАП ефект, при чему би користили паузе одговарајућег трајања и праћење индикатора умора.

У овом истраживању, применом брзих ексцентричних контракција са оптерећењем од 60% од 1РМ-а (ЕС60%), и паузе од 6 минута између потенцијацијског стимулуса и извођења ЦМЈ-а, забележен је просечан пораст висине скока од 6.8%, чиме је потврђена друга хипотеза овог истраживања. Поред тога, уочен је и серијски тренд побољшања просечне висине ЦМЈ-а, у распону од 3% до скоро 5%, што указује на стабилан и прогресиван ефекат потенцијације. У оквиру ексцентричне стимулације кључну улогу за манифестацију позитивних ефеката ПАП-а има синергија између умереног интензитета, брзине покрета и оптималне дужине паузе. Добијени налази додатно потврђују да и код рекреативно активне студентске популације, правилно дозирана потенцијација брзом ексцентричном контракцијом са дужином паузе 6 минута може резултирати значајним побољшањима експлозивних способности вертикалног типа. Важно је истаћи да биомеханичка и неурофизиолошка адаптација на ексцентрични стимулус може значајно варирати између високо тренираних спортиста и рекреативаца. Код високо тренираних појединаца ПАП се манифестује у ужем временском оквиру и

захтева прецизније оптималне услове како би надмашио акутни умор, док се код рекреативаца, у шта се могу сврстати и испитаници у овом истраживању, ефекат ПАП-а може бити израженији и стабилнији због мањег претходног излагања високим интензитетима тренинга, као и захваљујући продуженом периоду опоравка који омогућава да се ефекти потенцијације испоје без утицаја замора. Добијени резултати потврђују да брзе ексцентричне контракције са 60% од 1РМ-а, примењене у контролисаним условима са одговарајућим периодом паузе, представљају ефикасну стратегију за акутно побољшање вертикалне експлозивне способности, са потенцијалном применом у различитим спортским и рекреативним активностима.

Просечна висина ЦМЈ-а након примене потенцијације брзим ексцентричним контракцијама 40% од 1РМ-а била је већа за 2.5%, показујући најмање вредности у поређењу са просечним висинама скокова које су измерене након претходне две методе потенцијације, ЕСС90% и ЕС60%. Добијено повећање и даље има значајну практичну вредност са аспекта акутног побољшања неуромишићних карактеристика. Значајно је напоменути да су ЕСС90% и ЕС60% показале серијски прогресиван раст висине скокова кроз серије, док је код ЕС40% забележено смањење висине скока у другој серији, након чега је тек у трећој серији остварен акутни ефекат повећања од 2%. Сходно наведеном, трећа хипотеза истраживања може бити само делимично прихваћена.

Анализирајући разлике потенцијацијских ефеката, највећи ефекат уочен је након примене ЕСС90%. Потенцијација са ЕС60% показала је значајно мањи акутни ефекат на повећање висине ЦМЈ у поређењу са ЕСС90%, али значајно већи у односу на ЕС40%, чиме је потврђена и четврта хипотеза ове студије. Ови резултати су у складу са налазима претходних студија које су показале да субмаксимална оптерећења имају већи ефекат у односу на умерена оптерећења (Seitz и сар., 2016; Petisco и сар., 2019). У складу с наведеним истраживањима, резултати о акутним ефектима ПАП-а на висину вертикалног скока указују на значајне разлике у зависности од интензитета и начина извођења вежбе потенцијације. Оптерећење 90% од 1РМ-а у динамичкој ексцентрично-концентричној контракцији сматра се једним од најснажнијих подражаја за индуцирање ПАП-а.

Када је реч о утицају малог оптерећења 40% од 1РМ-а, кроз брзу ексцентричну фазу налази нису конзистентни и ефекти овог модалитета су генерално били мање изражени или чак одсутни у прве две серије. На основу тога овај модалитет може бити користан као део динамичког загревања ради повећања температуре мишића или специфичне припреме, али не као самосталан протокол за индуцирање класичног ПАП ефекта.

Поредећи три модалитета потенцијације, кључна разлика односи се на интеракцију између интензитета и изазваног замора. Док протокол ЕСС90% пружа снажан стимулус за ПАП, он захтева пажљивије програмирање оптималне паузе због могућег замора. Ексцентрични протокол са 60% од 1РМ-а омогућава манифестацију позитивног ефекта на висину вертикалног скока, мање варијабилности у индивидуалном одговору и једноставнију примену у пракси. Насупрот томе, ЕС40% има ограничен потенцијал за примену искључиво као ПАП протокол. Оба модалитета (90% и 60% од 1РМ-а) могу бити изузетно ефективна када су правилно прилагођена индивидуалним потребама, при чему се ексцентрични протокол са 60% од 1РМ-а кроз велику брзину

контракције препоручује као практичнија опција за добро утрениране појединце, док је протокол 90% од 1RM-а кроз динамички режим рада примењивији за врхунски трениране појединце способне да искористе његов пуни потенцијал.

Пауза од 6 минута коришћена у овом истраживању показала се оптималном за постизање позитивних ефеката ПАП-а при оптерећењима од ЕСС90% и ЕС60%, што је у складу са налазима претходних истраживања. Оптимално трајање паузе између потенцијацијске вежбе и наредне експлозивне активности један је од кључних фактора који детерминишу успешност ПАП протокола. Краћи интервали одмора 3 до 5 минута погоднији су у случајевима када се користе плиометријске вежбе и нижи интензитети, јер омогућавају довољан степен активације без значајнијег замора. С друге стране, дуже паузе 7 до 10 минута препоручују се када се ПАП стимулише максималним или супрамаксималним оптерећењима, где су захтеви за опоравком нервног система и енергетске обнове значајно већи. У том контексту, интервал од 6 минута, примењен у овој студији, може се посматрати као оптимални компромис, пружајући довољан период за повратак неурона у стање високе екситабилности и истовремено спречавајући настанак прекомерног замора који би могао негативно утицати на перформансе скока. Научна литература указује да ефикасност ПАП ефекта зависи и од степена утренираности појединаца, где боље утренирани спортисти брже постижу оптималну неуромускуларну активацију, што им омогућава коришћење краћих интервала одмора за постизање врхунских перформанси.

Ово истраживање може пружити боље разумевање о избору оптималног оптерећења и специфичних протокола, укључујући број серија и трајање одмора између серија, на улогу у искоришћавању акутних ефеката ПАП-а, нарочито код брзих ексцентричних контракција малог интензитета. Из тога произилази потреба за будућим истраживањима која би детаљније проучила интеракцију различитих протокола потенцијације са варирајућим интензитетима ексцентричног рада и брзина контракције, нарочито имајући у виду специфичне захтеве различитих спортова и различитих нивоа утренираности спортиста.

На крају дисертације кандидат у поглављу **Закључак** наводи да резултати реализованог експерименталног истраживања јасно указују да интензитет примењеног потенцијацијског протокола има пресудан утицај на висину ЦМЈ-а код утренираних студената. Највеће акутно побољшање перформанси забележено је након примене протокола са ЕСС90%, што потврђује да потенцијација субмаксималним оптерећењем остварује изражен ефекат на ПАП. Потенцијацијски протокол са ЕС60%, такође је довео до статистички значајног пораста висине вертикалног скока, али у мањој мери у поређењу са протоколом од ЕСС90%, док је најнижи испитивани интензитет ЕС40% показао минималан ефекат. Налази наглашавају важност примене довољно снажног стимулуса како би се максимално активирао неуромишићни систем и постигло краткорочно унапређење експлозивне снаге код утренираних студената. Интервал паузе од 6 минута показао се као оптималан у контексту потенцијацијских протокола који укључују умерене и субмаксималне интензитете, омогућавајући адекватну равнотежу између опоравка и задржавања потенцијацијских ефеката.

Значај овог истраживања огледа се у унапређењу теоријских спознаја о феномену постаивацијске потенцијације. Систематским поређењем ефеката три различита

потенцијацијска протокола, приказани су нови емпиријски докази о утицају интензитета предоптерећења на акутно испољавање експлозивне снаге. Практични значај добијених резултата огледа се у њиховој непосредној применљивости у тренажном процесу. Сазнања о разликама у ефектима различитих ПАП протокола омогућавају тренерима да ефикасније програмирају циљане вежбе потенцијације ради побољшања експлозивних перформанси спортиста. За појединце средњег нивоа тренираности, или у ситуацијама када је циљ избећи превелико, мишићно-лигаментарно оптерећење и замор, може се применити умерено оптерећење 60% од 1РМ-а као потенцијацијски стимулус кроз брзу ексцентричну контракцију. Овакав приступ пружа побољшање експлозивних способности уз мањи ризик од акутног замора или повреде.

Ово истраживање може пружити боље разумевање како различити интензитети оптерећења могу да утичу на повећање висине скока са почучњем а самим тим и на побољшање експлозивне снаге при вертикалним скоковим. На основу добијених резултата потенцијално, може се детектовати да ли су неке особе осетљивије на ПАП с мањим или већим интензитетом оптерећења. Ово посебно може помоћи у програмирању тренинга како би максимално искористили ПАП ефекат и побољшали перформансе у скоку са почучњем. С обзиром да је добијено да, ексцентрично-концентрични режим рада са 90% оптерећења од 1 РМ-а и режим рада брзе ексцентричне контракције са оптерећењем 60% од 1РМ-а, доводе до скоро идентичних ефеката на ПАП, то може да буде од велике важности за тренажну праксу. Овим истраживањем постављени су темељи за даља истраживања у подручју ПАП, како би се боље разумели механизми који леже у основи ПАП ефекта са циљем да се идентификују најефикаснији протоколи за побољшање експлозивне снаге и спортских перформанси. Ово истраживање и добијени резултати требало би да подстакну развој нових метода тренинга и протокола у комплексном тренингу које могу да користе кондициони тренери у спортској пракси.

Мишљење и предлог Комисије

Докторска дисертација кандидата Немање Злојутро написана је на српском језику. Истраживање има за циљ испитивање и поређење ефеката три различита типа ексцентрично-концентричних контракција у вежби чучањ на смит машини на акутно повећање висине скока са почучњем. Истраживање је формулисано на основу пажљиве анализе обимног библиографског материјала. Истраживачки проблем је темељно објашњен, а циљеви и хипотезе су јасно формулисани. Методе истраживања омогућиле су постизање циљева истраживања. Истраживање је веома значајно како теоријски, тако и практично олакшавајући поједине тренажне методе и приступе у развоју снаге са оптимално одређеним оптерећењем које би било примењено да изазове одговарајуће ефекта ПАП.

Систематским поређењем ефеката три различита потенцијацијска протокола, студија је обезбедила нове емпиријске доказе о утицају интензитета предоптерећења на акутно испољавање експлозивне снаге. Тиме је попуњена празнина у литератури и потврђена претпоставка да умерени потенцијацијски подражаји са великим брзинама контракције представљају ефикасан окидач ПАП ефекта код утренираних појединаца, чиме су још прецизније дефинисани услови и ограничења овог феномена у спортској науци.

Предлажемо да Наставно-научно веће прихвати Извештај Комисије о позитивно оцењеној докторској дисертацији кандидата Немање Злојутро, под називом "Акутни ефекти брзих ексцентричних контракција са различитим величинама оптерећења на манифестацију постаktивацијске потенцијације" и одлуку упутити Већу научних области друштвено-хуманистичких наука.

У Београду 30. маја 2025. године

Чланови комисије:

Др Дејан Сузовић, редовни професор,
Универзитет у Београду – Факултет спорта и физичког васпитања, председник
комисије,

Др Марко Ћосић, доцент,
Универзитет у Београду – Факултет спорта и физичког васпитања, члан,

Др Филип Кукић, доцент,
Универзитет у Бања Луци – Факултет физичког васпитања и спорта, члан,
