

ЕФЕКТИ ИНЕРЦИОНОГ И ГРАВИТАЦИОНОГ ОПТЕРЕЋЕЊА НА БАЛИСТИЧКЕ ПОКРЕТЕ

(извод из докторске дисертације)

Апстракт

Проблем у истраживању је испитивање утицаја инерционе и гравитационе компоненте оптерећења на балистичке покрете. Утицај компоненти оптерећења, у овом истраживању, испитиван је на задацима максималних скокова увис и избачаја из лежећег положаја на клупи. На тај начин, испитиван је утицај инерционе и гравитационе силе на динамичка својства мишића руку и мишића ногу. За потребе овог истраживања коришћена је потпуно нова техника (тренажер) којом се истовремено или селективно утицало на интезитет инерционе и гравитационе компоненте спољашњег оптерећења. У истраживањима је учествовало укупно 30 испитаника, студената Факултета спорта и физичког васпитања. Испитаници су задатке изводили у четири услова (независне варијабле): без оптерећења, са појачаном гравитационом компонентом (Γ), појачаном гравитационом + инерционом компонентом ($\Gamma+И$) и појачаном инерционом компонентом оптерећења ($И$). Утицај компоненти оптерећења на динамичка својства мишића процењиван је на основу праћења зависних варијабли у различитим условима извођења задатака - Максимална сила (F_{max}), Максимална брзина (V_{max}), Максимална снага (P_{max})... Добијени резултати истраживања показали су да Γ , $\Gamma+И$ и $И$ оптерећења различито утичу на перформансе скокова и избачаја. Повећање интезитета Γ оптерећења повезано је са најмањим изменама у кинематичкој шеми скока и најмањом редукацијом перформанси скока, омогућавајући истовремено и највећи динамички излаз. Добијени резултати указали су на значајније ефекте Γ и $И$ компоненте оптерећења на перформансе избачаја у односу на добијене ефекте у скоковима. Добијени резултати говоре у прилог примене оптерећења које потиче од Γ компоненте (као што су еластичне гуме или еластичне опруге), у односу на најчешће коришћена оптерећења тековима (подједнак утицај Γ и $И$ компоненте), јер ће се на тај начин обезбедити сличан интезитет силе али у већој брзини извођења покрета.

Кључне речи: МИШИЋ, СПОСОБНОСТ, СИЛА, СНАГА, БРЗИНА, СКОК УВИС, ИЗБАЧАЈ.

EFFECTS OF THE INERTIAL AND GRAVITY LOADS ON BALLISTIC MOVEMENTS

Summary

The purpose of this research is examining the influence of inertial and gravitational component of load on ballistic movements. The influence of load components has been examined in this research on the tasks of maximum jumps and bench press throws. In this way the influence of inertial and gravitational force on dynamic features of arm and leg muscles has been examined as well. For this research specially, a new technique (trainer) has been used in order to simultaneously and selectively influence the intensity of inertial and gravitational component of external load. The total of 30 respondents, students of Faculty of Sport and Physical Education, have participated in this research. The respondents performed the tasks in four set of conditions (independent variables): without load, with intensified gravitational component (G), intensified gravitational + inertial component (G+I) and intensified inertial component (I). The influence of load components on the dynamic features of muscles has been assessed based on monitoring the dependent variables while performing the tasks in different conditions: Maximum force (F_{max}), Maximum speed (V_{max}), Maximum power (P_{max})... The findings of the research have shown that G, G+I i I loads have different influence on jump performance and bench press throws. The increase in intensity of G is related to the smallest changes in kinematic pattern of the jump and the smallest reduction in jump performance, thus providing the biggest dynamic output. The findings point to the significant effects of G and I load component on the throw performance in comparison with the effects on jumps. Findings support the application of load originating from gravitational component (such as elastic bands or elastic springs), compared to most widely used weights load (equal influence of G and I component). This method provides similar intensity, but bigger speed of performing movements.

Key words: muscle, ability, force, power, speed, jump, bench press throw.

УВОД

У свакодневним активностима човек се супроставља гравитационој и инерционој сили сегмената свога тела, као и предмета са којима долази у непосредан контакт. У зависности од облика кретања који се упражњава зависиће и интезитет поменутих компоненти оптерећења које у датом тренутку делују на човека. Према томе, у покретима који се одвијају у вертикалном правцу (скок увис, чучањ, избачај и др) локомоторни апарат углавном се супроставља гравитационој сили, док у покретима у хоризонталном правцу (ходање, трчање и др) највећи део енергије троши се на супростављање инерционој сили сегмената тела која се јавља приликом убрзавања и успоравања ногу и руку у току реализације ових кретних активности (McMahon, 1984; Teunissen i sar., 2007). Код активности

које имају и вертикалну и хоризонталну компоненту, као што је на пример скок удаљ, интезитет гравитационог и инерционог оптерећења зависиће од резултанте вертикалне и хоризонталне силе реакције подлоге, а локомоторни апарат ће се супростављати и једној и другој компоненти оптерећења.

Различити облици оптерећења, којима се локомоторни апарат човека у свакодневним активностима супроставља, потичу од оптерећења сопственог тела и оптерећења предмета са којима долази у контакт. Мишићни систем који директно производи одређене покрете, уз помоћ коштаног и везивног ткива, представља основни механизам помоћу кога човек реализује кретање. Ефикасност тог кретања зависи од способности мишића да производе потребну снагу за извођење покрета. Дакле, да би се човек ефикасније кретао и био продуктивнији у пословима које обавља, мора да развије способност мишића и мишићних група да генеришу већу снагу.

Адаптациони процеси локомоторног апарата, који се јављају као одговор на извођење одређених задатака у дужем временском периоду, изазвали су велико интересовање истраживача. Налази једног броја радова, који су се бавили мишићном адаптацијом, указују да се механичка и физиолошка својства мишића мењају под утицајем одређене физичке активности (Zatsiorsky i Kraemer, 2009; Cormie i sar., 2011a; 2011b; Cronin i sar., 2005). Истраживања која су се бавила максималним динамичким излазом код вертикалних скокова, на основу добијених резултата, дефинисала су хипотезу према којој је динамичка способност локомоторног апарата највећа у задацима и условима који су најприближнији свакодневним активностима човека, дакле у оним условима којима је човек у дужем временском периоду изложен, према којима се адаптирао (Марковић и Јарић, 2007; Јарић и Марковић, 2009; Nuzzo i sar., 2010).

Примена оптерећења у тренингу, превенцији и рехабилитацији је широко прихваћена и због тога захтева прецизност у коришћењу и познавање основних механизма употребе различитих облика оптерећења. Као што је већ речено, човек се супроставља тежини и инерцији сопственог тела и објеката са којима долази у контакт, па према томе најопштија подела оптерећења може се дефинисати као оптерећење сопственог тела и спољашње оптерећење. Оптерећење сопственог тела се често користи у физичком вежбању. Међутим, тежини свог тела човек се супроставља и у свакодневним животним активностима (ходање, трчање, скакање и др). Спољашње оптерећење у физичком вежбању представља извођење покрета где се као отпор користи: тежина предмета, отпор партнера, отпор еластичних предмета, отпор спољашње средине (на пример, трчање по мекој подлози, вежбање у води и др). Такође, поред споменутих могуће је издвојити и тзв. вежбе са самоотпором. Ове вежбе су карактеристичне по истовременом напрезању једних и супростављању других мишићних група (најчешће антагониста).

Ако посматрамо кретање човека и оптерећење које потиче од сопствене тежине тела, свакодневне активности, на одређен начин, можемо сврстати у инерцијални тренинг. Ако на само кретање додамо и деловање спољашњих сила у

виду тежине предмета са којима човек долази у непосредан контакт, евидентно је да, у оваквим ситуацијама, мишићни систем делује против гравитационе и инерционе компоненте тела и предмета којима се користи. Такође у спорту, у тренингу снаге који се углавном спроводи помоћу оптерећења, најчешће у облику тегова, гравитациона и инерциона компонента представљају основне облике отпора.

Смер деловања гравитационе компоненте увек је вертикалан, док смер деловања инерционе компоненте зависи од смера убрзања тела у тродимензионалном систему. Ако посматрамо силу реакције подлоге, у току неког кретања, она представља резултанту њене хоризонталне и вертикалне компоненте. Међутим, уколико се покрет одвија у вертикалном правцу, сила реакције подлоге имаће само вертикалну компоненту, према томе смер деловања инерционе компоненте биће такође вертикалан. Дакле, гравитациона и инерциона компонента оптерећења колинеарне су само када тело (са евентуално спољашњим оптерећењем) убрзава у вертикалном правцу. Овакав однос компоненти оптерећења може се срести код скокова увис, чучњева, потисака са груди, избачаја са груди и др.

Као последица колинеарности компоненти оптерећења, скаларна једначина вертикалне компоненте силе реакције подлоге (GRF), произведена током времена (t) биће: $GRF(t) \approx m [g + a(t)]$, где је m маса тела, g гравитационо убрзање, $a(t)$ убрзање тела у вертикалном правцу на горе. Из ове скаларне једначине може се даље закључити да је производ масе (m) и гравитационог убрзања (g) једнак тежини тела ($W=m \cdot g$) која је константна, док је производ масе тела (m) и убрзања тела у времену ($a(t)$) једнак инерцији тела [$I(t)=m \cdot a(t)$]. Инерција тела се мења у времену у зависности од убрзања. Иста једначина може бити примењена код извођења појединачних покрета тела када спољашње силе делују вертикално.

Из предходно изведених једначина јасно се може закључити да су покрети који се одвијају у вертикалном правцу углавном оптерећени гравитационом компонентом, док су кретања као што су ходање и трчање (посебно спринт) највише оптерећени инерционом компонентом.

Инерциона и гравитациона компонента оптерећења повећавају се пропорционално са повећањем масе тела, односно деловањем неке спољашње силе. Није познато, када су ове две компоненте оптерећења у питању, какав је њихов селективни утицај на кинематичке и кинетичке параметре покрета. Да би овај проблем могао бити испитан мора се задовољити услов колинеарности компоненти оптерећења, дакле покрет мора бити извршен искључиво у вертикалном правцу.

Симулацију додатног гравитационог оптерећења могуће је извршити деловањем константне спољне силе у вертикалном правцу (Galantis i Woledge, 2003; Gosseye i sar., 2010; Griffin i sar., 1999). У том циљу примењено еластично оптерећење (гуме) мора бити довољно дуго и довољно еластично како би обезбедило релативно константну силу током покрета. Истовремено деловање и инерционог и гравитационог оптерећења добија се једноставним додавањем тегова, у том случају имамо и инерцију и гравитацију. Повећање искључиво инерционог оптерећења обезбеђује се неутралисањем гравитационе компоненте спољашњег оп-

терећења (тегова). Дакле, константном спољном силом, која има супротан смер од смера деловања гравитационе компоненте тега, ће омогућити деловање само инерционе компоненте оптерећења.

Велики број истраживања о примени оптерећења у тренингу снаге усмерена су на оптимализацију оптерећења у погледу минималне енергетске потрошње (Teunissen i sar., 2007) и максимализације динамичког излаза (Bevan i sar., 2010; Cormie i sar., 2007c; Lund i sar., 2004; Markovic i Jaric, 2007; Nuzzo i sar., 2010). С обзиром на врсте оптерећења, најчешће примењивано оптерећење у тренингу, рехабилитацији и процедурама тестирања јесте изоинерцијално оптерећење, односно коришћење тегова као спољашњег отпора, било директно или преко посебно конструисаних система (Anderson i sar., 2008; Cavagna i sar., 1972; Chang i sar., 2000; Cormie i sar., 2007; De Witt i sar., 2008; McBride i sar., 1999; Wallace i sar., 2006; Wilson i sar., 1993). У досадашњим истраживањима, селективан утицај компоненти оптерећења на балистичке покрете, није посматран као независан проблем. Поједине студије су на индиректан начин процењивале утицај гравитационе компоненте оптерећења на перформансе покрета, применом константне еластичне силе (Markovic i Jaric, 2007; Nuzzo i sar., 2010; Marković i sar., 2011; Vuk i sar., 2011). Утицај компоненти оптерећења (инерција и гравитација) тестиран је на кретањима која се одвијају углавном у хоризонтално правцу (ходања, трчања и др). Налази истраживања која су испитивала утицај гравитационе компоненте оптерећења на кинетички и кинематички образац ходања и трчања прилично су неуверљиви, односно нису показали значајне разлике (Chang i sar., 2000; De Witt i sar., 2008; Teunissen i sar., 2007). Изоловани утицај инерционе компоненте оптерећења тестиран је само у истраживањима моторне контроле и то на једнозглобним покретима у хоризонталној равни (Corgos i sar., 1993; Јарић, 2000).

Након прегледа и анализе истраживања која су се бавила применом оптерећења у тренингу, рехабилитацији, превенцији др., може се констатовати да није било студија које су на адекватан начин испитивале селективан утицај инерционе и гравитационе компоненте оптерећења (Г, Г+И, И) на кинематичке и кинетичке параметре балистичких покрета. У истраживањима која су на индиректан начин процењивала ефекат једне од компоненти оптерећења, евидентиран је одређен број методолошких недостатака у механичким карактеристикама система за примену позитивног и негативног оптерећења.

Проблем истраживања је фундаменталног карактера и формулисан је на основу методолошких недостатака истраживања у којима је испитиван утицај компоненти оптерећења на кинетичке и кинематичке параметре одређених задатака. Истраживања која су се бавила утицајем компоненти оптерећења нису пружила валидне информације о ефектима инерционе и гравитационе силе на кретање човека. Овај проблем, до сада, истраживан је на покретима који се реализују у хоризонталној равни, међутим могућност упоређивања гравитационе и инерционе компоненте оптерећења постоји само у покретима који се одвијају у вертикалном правцу. Према томе, на основу досадашњих истраживања, не постоје информације о ефектима појединих компоненти оптерећења на кретање човека.

Предмет истраживања је испитивање ефеката гравитационе и инерционе компоненте оптерећења на динамичка својства мишића руку и ногу, односно, на који начин гравитациона и инерциона компонента утичу на испољавање снаге у задацима максималних скокова и избачаја из лежећег положаја на клупи.

Циљ истраживања је да се утврди да ли постоје и како се манифестују, селективни утицаји гравитационе и инерционе компоненте оптерећења на кинематичку шему и динамички излаз балистичких покрета који се врше у вертикалном правцу.

На основу циља истраживања и прелиминарних резултата добијених у пилот студији, организовани су експерименти у којима је посматран издвојен утицај:

1. инерционе и гравитационе компоненте оптерећења на перформансе мишића ногу на задацима максималних вертикалних скокова (скок увис - СВ и скок увис из получучња - СВ_{пч})
2. инерционе и гравитационе компоненте оптерећења на перформансе мишића руку на задатку избачаја из лежећег положаја на клупи - И_{алтк}.

Овим експериментима обухваћене су различите групе мишића у функцији вршења балистичких покрета. На тај начин омогућено је упоређивање утицаја различитих компоненти оптерећења, односно, доказивање утицаја гравитационе и инерционе компоненте оптерећења на кинематичку шему и динамички излаз балистичких покрета.

На основу детаљне анализе релевантних истраживања и добијених резултата пилот истраживањем, за реализоване експерименте постављена је хипотеза истраживања према којој ће - Инерциона и гравитациона компонента оптерећења имати различит утицај на кинематичку шему и динамички излаз максималних вертикалних скокова и избачаја из лежећег положаја на клупи.

МЕТОДЕ

Целокупан протокол истраживања реализован је у Методичко-истраживачкој лабораторији (МИЛ) Факултета спорта и физичког васпитања, Универзитета у Београду.

Узорак испитаника

У експериментима је учествовало 30 студената Факултета спорта и физичког васпитања (15 у првом и 15 у другом експерименту). Сви испитаници су били физички активне особе које своје активности спроводе у оквиру наставе на академским студијама Факултета, која обухвата 6-8 часова недељно. Такође, испитаници нису били активни спортисти и нису имали искустава у тренингу снаге.

Испитаници су били здрави и без икаквих хроничних обољења, срчаних проблема, односно без повреда локомоторног апарата које би утицале на резултате тестирања. Пре почетка експеримента израђен је писани протокол експеримента који укључује све потребне информације, тако да су, пре започињања тестирања, сви испитаници прочитали и упознали се са предметом и циљем истраживања, а потом потписом дали сагласност о учешћу у експерименту. Такође, комплетно су објашњени сви протоколи тестирања, са посебним назнакама везаним за могуће ризике од повреда.

Ток и поступци истраживања

Оба експеримента реализована су мерењима у четири међусобно одвојена дана. Првог дана експериментата обухваћена су антропометријска мерења и упознавање испитаника са протоколом тестирања (фамилијаризација).

Другог дана, оба експеримента, извршена су мерења помоћу специјално конструисаног система за изоловано деловање компоненти оптерећења, којим се повећавала само гравитациона компонента (G). У првом експерименту испитаници су изводили *максимални скок увис* ($СВ$) и *максимални скок увис из получучња са рукама на боковима* ($СВ_{пч}$) у условима 110% G , 120% G , 130% G и 140% G . Инерциона компонента оптерећења увек је била 100%. У другом експерименту испитаници су изводили *максимални избачај из лежећег положаја на клупи* ($I_{алк}$) у условима референтног оптерећења (PO) + гравитационо оптерећење (G) у интензитету 10, 20, 30, 40, 50 и 60% у односу на један понављајући максимум (1ПМ). Референтно оптерећење (PO) представљало је масу шипке и масу руку, против чије су и гравитације и инерције испитаници деловали у сваком услову избачаја.

Трећег дана су извршена мерења где се истовремено повећавала и инерциона и гравитациона компонента оптерећења ($G+I$). У првом експерименту испитаници су изводили задатке $СВ$ и $СВ_{пч}$ у условима 110% $G+I$, 120% $G+I$, 130% $G+I$ и 140% $G+I$, уз помоћ прслука са оптерећењем (Pro 75, MiR, USA). У другом експерименту испитаници су изводили задатак $I_{алк}$ у условима $PO + 10, 20, 30, 40, 50$ и 60% 1ПМ - $G+I$, уз помоћ тегова који су придодати на PO .

Четвртог дана извршена су мерење помоћу специјално конструисаног система за изоловано деловање компоненти оптерећења којим се повећавала само инерциона компонента (I). У првом експерименту испитаници су изводили $СВ$ и $СВ_{пч}$ у условима 110% I , 120% I , 130% I и 140% I . Гравитациона компонента оптерећења увек је била 100%. У другом експерименту Испитаници су изводили $I_{алк}$ у условима $PO + 10, 20, 30, 40, 50$ и 60% 1ПМ - I .

Сва мерења су била раздвојена са два дана одмора и испитаницима је сугерисано да се не баве физичким вежбањем за време трајања експеримента. Сваком тесту предходило је детаљно објашњење и одговарајућа демонстрација. По један искусан мерилац био је ангажован у реализацији тестирања за сваку групу тестова. Испитаници су изводили по три покушаја при сваком услову оптерећења, први покушај је био пробни, док су друга два била експериментална. Покушај са већом максималном брзином узет је за даљу анализу.

Узорак варијабли и начин њиховог мерења

Процена морфолошког статуса испитаника у реализованим експериментима вршена је на основу података прикупљених мерењем висине (антропометар по Мартину) и масе тела, као и процента масног ткива добијеног индиректном методом рачунања (In body 720, USA). Током свих антропометријских мерења испитаници су били боси и минимално обучени (само кратки шортс).

На основу записа вертикалне компоненте силе реакције подлоге рачунате су, у првом експерименту, следеће варијабле:

Скок увис (СВ) - Максимално спуштање центра масе током ексцентричне фазе скока (Δh_{ecc}), Трајање концентричне фазе скока (T_{conc}), Максимална брзина (V_{max}), Сила реакције подлоге у моменту преласка из ексцентричне у концентричну фазу скока (F_{trp}), Максимална сила реакције подлоге током концентричне фазе (F_{max}), Средња снага (P_{mean}) и Максимална снага у концентричној фази скока (P_{max}).

Скок увис из получучња (СВ_{пч}) - Максимална брзина кретања (V_{max}), Трајање концентричне фазе скока (T_{conc}), Максимална сила реакције подлоге (F_{max}), Средња снага (P_{mean}) и Максимална снага (P_{max}).

На основу записа брзине помераја шипке, у другом експерименту, рачунате су следеће варијабле: Максимална сила (F_{max}), Максимална брзина (V_{max}), Максимална снага (P_{max}), Време достизања максималне силе (T_{fmax}), Време достизања максималне брзине (T_{vmax}) и Време достизања максималне снаге (T_{pmax}).

Прикупљање и обрада података

За снимање сигнала вертикалне компоненте силе реакције подлоге код задатака СВ и СВ_{пч} коришћена је платформа силе, монтирана и калибрирана према спецификацијама произвођача (димензија 40 x 60 cm, AMTI, Inc., Newton MA, USA). Фрекванција снимања записа силе била је на 1kHz. За потребе овог истраживања у циљу прикупљања и обраде добијених података коришћен је софтвер урађен у LabView програму (National Instruments, Version 8.2). Сигнали вертикалне компоненте силе реакције подлоге прво су обрађени Батервортовим нископропусним филтером другог реда од 10 Хз, након чега је примењена техника временског усредњавања од 10 ms. Брзина и положај центра масе израчунавани су методом директне динамике на основу убрзања процењеног из записа вертикалне компоненте силе реакције подлоге. Посматрајући кинетичку и кинематичку шему извођења задатака (СВ и СВ_{пч}), у различитим условима оптерећења, главне варијабле које су накнадно рачунате из сачуваних записа силе су: Максимална снага (P_{max}) и Просечна снага (P_{mean}).

За прикупљање података код теста И_{алк} коришћен је оптички енкодер, којим су се снимали сигнали вертикалног помераја шипке, монтиран и калибриран према спецификацијама произвођача. Фрекванција снимања записа помераја шипке била је на 200 Хз. Сигнали брзине помераја обрађени су применом Батер-

вортов нископропусног филтера другог реда од 5 Хз. Начин прикупљања података овом методом евалуиран је у предходним истраживањима (Cronin i sar., 2000). На основу записа брзине помераја шипке, методом директне динамике израчунавано је убрзање а затим и сила у јединици времена. Укупна сила која делује на шипку израчунавана је као сума свих сила које потичу од укупне гравитационе компоненте Г (на пример, сума гравитационе силе РО и додатих тегова плус сила еластичних гума) и укупне инерционе компоненте И (маса РО и додатих тегова помножена са убрзањем).

Статистичка анализа

Дескриптивна статистика за све праћене варијабле изражена је кроз средње вредности и стандардну девијацију. Нормалност расподеле за све зависне варијабле тестирана је помоћу Колмогоров-Смирнов теста. Ефекат типа (Г, Г+И, И) и величине (110%, 120%, 130% и 140% од ТМ за задатке скокова и РО+10%, РО+20%, РО+30%, РО+40%, РО+50% и РО+60% од 1ПМ за задатке избачаја) примењиваних спољашњих оптерећења на све зависне варијабле тестиран је помоћу двофакторске анализе варијансе (АНОВА). Даља анализа ефеката компоненти и величине оптерећења као и њихова интеракција тестирана је Бонферрони пост-хоц тестом. Праг значајности статистичких налаза постављен је на нивоу $p = 0,05$. Сви статистички поступци су израчунавани коришћењем СПСС 16.0 софтвера (SPSS Inc, Chicago, IL) и Office Excel 2003 (Microsoft Corporation, Redmond, WA)

РЕЗУЛТАТИ

1. Експеримент

Кинетичка и кинематичка анализа извођења одабраних задатака ($СВ$ и $СВ_{пч}$), показала је одређене закономерности везане за утицај компоненти оптерећења на перформансе мишића ногу.

Повећање интезитета примењиваних оптерећења довело је до продуженог трајања концентричне фазе скока увис, али само када је у питању повећање интезитета И компоненте и И+Г компоненте оптерећења истовремено. Промена интезитета оптерећења Г компоненте није утицала на трајање концентричне фазе скока. Међутим, трајање концентричне фазе скока увис из получучња се такође повећавало са повећањем интезитета оптерећења али није било ефекта компоненте оптерећења.

Максимална сила у концентричној фази скока, код оба задатка, расте са повећањем интезитета оптерећења, али је повећање најизраженије код повећања И+Г компоненте истовремено, посебно код скока увис (Слика 1А). Максимална сила приликом извођења скока увис из получучња значајно је мања у односу на скок увис, $СВ \approx 2000 \text{ Н}$; $СВ_{пч} \approx 1700 \text{ Н}$.

Максимална брзина кретања центра масе, у оба тестирана задатка, опада са повећањем интензитета оптерећења (Слика 1Б). Најмање утицаја на опадање брзине кретања имало је повећање Γ компоненте, док је највећи утицај на “обарање” брзине кретања имало истовремено повећање инерционе и гравитационе компоненте оптерећења. Дакле, исти ефекти врсте и величине оптерећења на брзину кретања добијени су на задатку скока увис и задатку скока увис из получучња.

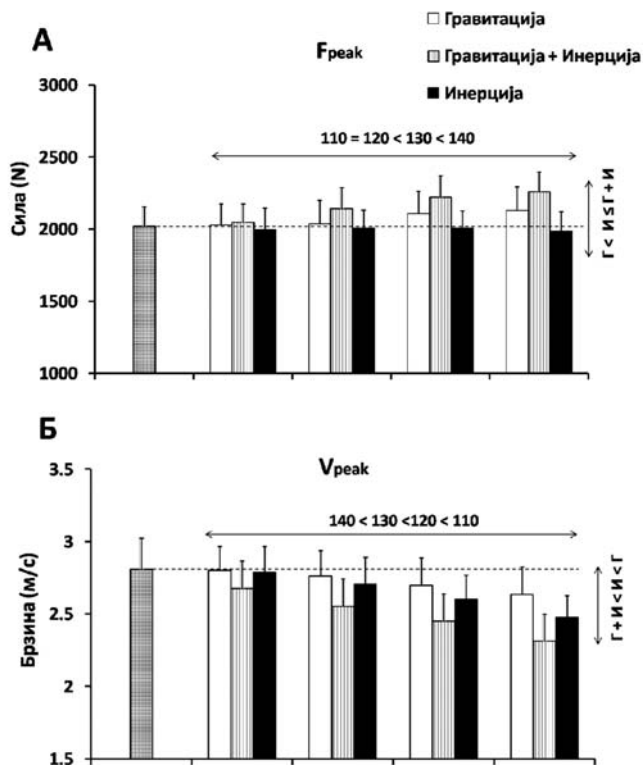
Средња снага у концентричној фази скока увис опада са повећањем интензитета I компоненте, не мења се са истовременим повећањем $I+\Gamma$ оптерећења, док расте са повећањем интензитета Γ компоненте оптерећења. Извођење скока увис из получучња показало је да нема ефеката компоненте и величине оптерећења на максимални динамички излаз процењиван кроз средњу и максималну снагу у концентричној фази скока.

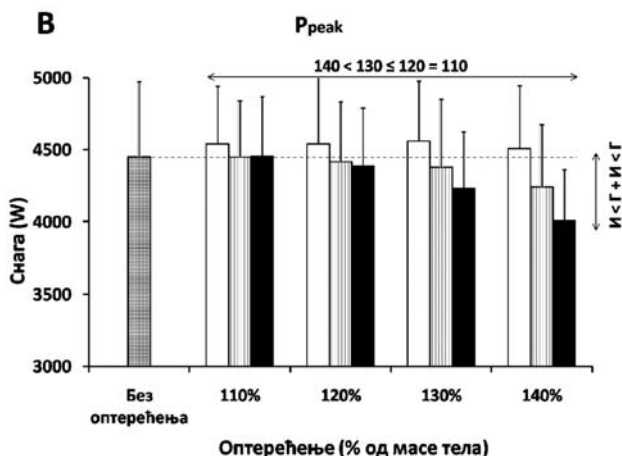
Максимална снага у концентричној фази скока увис показује да повећање интензитета I компоненте оптерећења највише утиче на “обарање” максималне снаге (Слика 1В), док добијени резултати на задатку скока увис из получучња указују да нема ефеката врсте оптерећења на динамички излаз. Повећање интензитета гравитационе компоненте оптерећења није довело до опадања максималне снаге у оба тестирана задатка.

Табела 1. Главни ефекти компоненте оптерећења, интензитета оптерећења и њихове интеракције на зависне варијабле, максималног скока увис, процењивани кроз статистичку значајност и одговарајући ефекат величине.

Варијабле	ANOVAs	F	Main Effect p - level	Effect size η^2	Effect size descriptor	Post hoc *
Δh_{ecc}	Компонента	17.99	< 0.001	0.562	Велики	$I = \Gamma < \Gamma + I$
	Интезитет	1.04	> 0.10	0.069	Мали	110 = 120 = 130 = 140
	Интеракција	1.97	> 0.10	0.123	Умерени	
T_{conc}	Компонента	11.08	< 0.001	0.442	Велики	$\Gamma < \Gamma + I = I$
	Интезитет	14.77	< 0.001	0.513	Велики	110 = 120 \leq 130 < 140
	Интеракција	3.99	< 0.001	0.222	Велики	
$F_{гр}$	Компонента	17.82	< 0.001	0.56	Велики	$I = \Gamma < \Gamma + I$
	Интезитет	22.15	< 0.001	0.613	Велики	110 < 120 = 130 = 140
	Интеракција	3.32	< 0.01	0.192	Велики	
F_{max}	Компонента	32.87	< 0.001	0.701	Велики	$I < \Gamma < \Gamma + I$
	Интезитет	22.23	< 0.001	0.614	Велики	110 = 120 < 130 < 140
	Интеракција	7.64	< 0.001	0.353	Велики	

V_{peak}	Компонента	84.07	< 0.001	0.875	Велики	$\Gamma + I < I < \Gamma$
	Интезитет	658.31	< 0.001	0.979	Велики	$140 < 130 < 120 < 110$
	Интеракција	17.25	< 0.001	0.522	Велики	
P_{max}	Компонента	16.41	< 0.001	0.54	Велики	$I < \Gamma + I < \Gamma$
	Интезитет	39.14	< 0.001	0.737	Велики	$140 < 130 \leq 120 = 110$
	Интеракција	8.01	< 0.001	0.364	Велики	
P_{mean}	Компонента	11.4	< 0.001	0.449	Велики	$I = \Gamma + I \leq \Gamma$
	Интезитет	3.16	< 0.05	0.184	Велики	$140 \leq 130 = 120 = 110$
	Интеракција	6.27	< 0.001	0.309	Велики	





Слика 1. Максимална сила (А; F_{peak}), максимална брзина кретања центра масе (Б; V_{peak}) и максимална снага (В; P_{peak}) у концентричној фази скока увис у зависности од повећања интензитета појединих компоненти оптерећења (Г, Г+И, И)

2. Експеримент

Добијени резултати, тестирани помоћу двофакторске анализе варијансе (фактори су компонента и величина примењиваних оптерећења), показали су статистичку значајност главних ефеката и њихову интеракцију.

Резултати показују да се најмање вредности брзине покрета добијају када је примењено инерционо и гравитационо оптерећење истовремено (РО+60% Г+И). Највећа максимална брзина добијена је при оптерећењу Г компонентом, при којем је забележено и најкраће време трајања покрета ≈ 500 мс. Резултати показују да брзина значајно опада са повећањем интензитета оптерећења, а највећи пад брзине повезан је са истовременим деловањем инерционе и гравитационе компоненте (62%), док је гравитациона компонента оптерећења најмање утицала на „обарање“ брзине избачаја (Слика 2А).

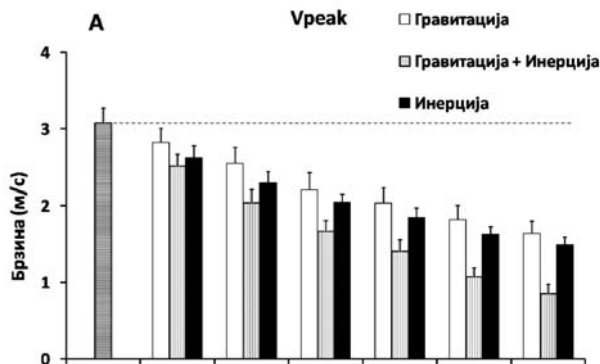
Максимална сила повећавала се са порастом величине оптерећења (Слика 2Б). Највећи интензитет силе остварен је деловањем против Г+И оптерећења (повећање на 162% од силе РО), док су нешто ниже вредности остварене када је примењивано само гравитационо оптерећења (повећање на 151% од силе РО). Интензитет силе у избачајима који су за оптерећење имали инерциону компоненту није се битније мењао, односно био је приближно једнак сили у избачају са референтним оптерећењем.

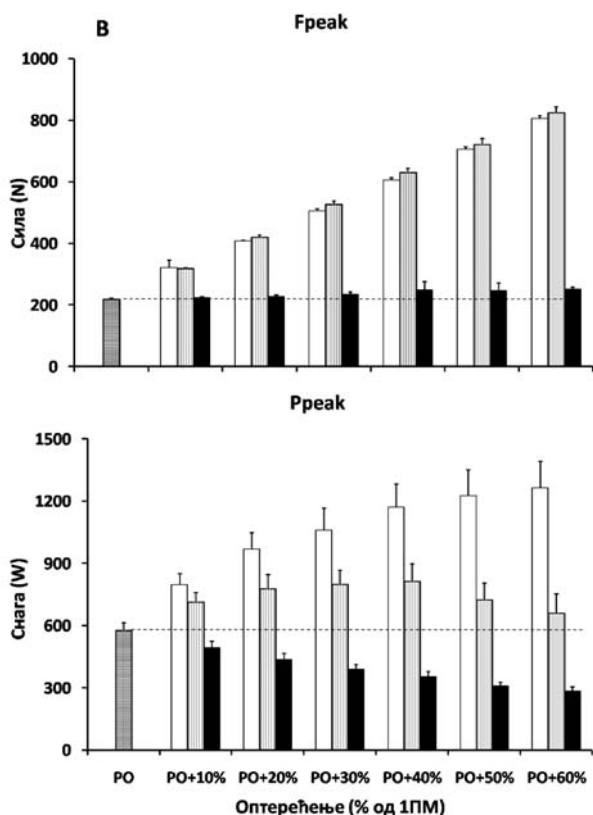
Резултати максималне генерисане снаге током избачаја, као основне детерминанте максималног динамичког излаза, указују на дијаметрално различите перформансе мишића руку у зависности од примењиваних компоненти оптерећења. Временски интервали развоја снаге, при референтном оптерећењу и максималним интензитетима придодатих Г, Г+И и И компоненти оптерећења,

показују да се знатно већа максимална снага развија против гравитационог оптерећења. Максимална снага, са повећањем интензитета Γ компоненте оптерећења (80% од 1ПМ) повећана је за 59% (од снаге при РО оптерећењу), док је максимална снага опала са повећањем И оптерећења (80% од 1ПМ) за 42%. Пораст Γ +И оптерећења, истовремено, утицао је на раст максималне снаге до интензитета од 50-60% од 1 понављајућег максимума, а затим је забележен пад (Слика 2В).

Табела 2. Главни ефекти компоненте оптерећења, интензитета оптерећења и њихове интеракције на зависне варијабле, максималног избачаја из лежећег положаја на клупи, процењивани кроз статистичку значајност и одговарајући ефекат величине.

Варијабле	ANOVAs	F	Main Effect p - level	Effect size η^2	Effect size descriptor	Post hoc *
V_{peak}	Компонента	56.44	< 0.001	0.813	Велики	$\Gamma+И < И < \Gamma$
	Интезитет	3734.81	< 0.001	0.997	Велики	10 > 20 > 30 > 40 > 50 > 60
	Интеракција	52.74	< 0.001	0.802	Велики	
F_{peak}	Компонента	7,678.640	< 0.001	0.998	Велики	$И < \Gamma < \Gamma+И$
	Интезитет	5,479.790	< 0.001	0.998	Велики	10 < 20 < 30 < 40 < 50 < 60
	Интеракција	767.47	< 0.001	0.983	Велики	
P_{peak}	Компонента	308.92	< 0.001	0.96	Велики	$И < \Gamma+И < \Gamma$
	Интезитет	91.03	< 0.001	0.875	Велики	20 > 60; 30 > 60
	Интеракција	251.72	< 0.001	0.951	Велики	





Слика 2. Максимална брзина избачаја (А; V_{peak}), максимална сила (Б; F_{peak}), и максимална снага (В; P_{peak}) у задатку избачаја из лежећег положаја на клупи у зависности од повећања интензитета појединих компоненти оптерећења (Г, Г+И, И)

ДИСКУСИЈА

У реализованим експериментима истраживани су ефекти компоненти спољашњег оптерећења на динамичка својства мишића руку и ногу. Компоненте оптерећења изоловане су тако што је мерен селективан утицај гравитационе, инерционе и инерционе+гравитационе компоненте оптерећења. Гравитација је симулирана дејством константне силе еластичних гума на доле (Г). Инерција је изолована тако што се одузимала гравитациона компонента спољашњег оптерећења константном силом еластичних гума на горе (И). Инерциона и гравитациона компонента истовремено добијена је једноставним додавањем тегова (Г+И).

Добијени резултати, у задацима СВ и СВ_{пч}, указали су на одређене ефекте утицаја компоненти оптерећења на перформансе мишића ногу. Као што је и било очекивано, повећање интензитета свих типова оптерећења довело је до редукције перформанси обе врсте скока. Највише истакнути ефекти повезани су

са истовременом применом гравитационог и инерционог оптерећења ($\Gamma+I$), док су најмањи ефекти повезани са гравитационим оптерећењем (Γ). Посматрајући утицај различитих компоненти оптерећења на зависне варијабле, две различите врсте скока, може се констатовати да су ефекти слични али ипак значајнији код максималног скока увис у односу на скок увис из получучња. Дакле, селективна примена компоненти оптерећења имала је већи утицај на покрет са већом могућности прилагођавања (CB). Овакав налаз може се образложити ексцентричном фазом скока, која предходи концентричној у задатку максималног скока увис, где појачано деловање инерционе компоненте додатног оптерећења и оптерећења сопственог тела проузрокује наглашеније утицаје компоненти оптерећења на зависне варијабле.

На основу постављене хипотезе истраживања, везне за ефекте гравитационе и инерционе силе на перформансе мишића ногу, а у односу на добијене налазе, може се констатовати да је хипотеза потврђена, дакле инерциона и гравитациона компонента оптерећења имале су различит утицај на кинематичку шему и максимални динамички излаз CB , $CB_{пч}$, $I_{алк}$ задатака.

Утицај компоненти оптерећења (Γ , $\Gamma+I$, I) на перформансе мишића руку истраживан је на задатку избачаја из лежећег положаја на клупи. Резултати овог истраживања показали су да постоје ефекти типа оптерећења на кинематичку шему и максимални динамички излаз избачаја. У односу на задатке CB и $Spч$ ефекти гравитационе и инерционе силе у задатку $I_{алк}$ су значајно већи, на основу којих се може прецизније дефинисати селективан утицај компоненти оптерећења на балистичке покрете. У овом експерименту максимална брзина избачаја највише је смањена под утицајем истовремене примене инерционе и гравитационе компоненте оптерећења ($\Gamma+I$), а најмање се брзина кретања мењала са повећање гравитационе компоненте оптерећења (Γ). Овакав налаз може се образложити истовременим оптерећењем гравитационом и инерционом силом, у првом случају, а разлог малих промена у брзини кретања са повећањем гравитационе силе, у односу на инерциону, треба испитати детаљнијом механичком анализом, као што је моделовање одабраног покрета. Истраживање Самозино и сарадника (2012) је такође показало да инерциона сила мање утиче на брзину скока у хоризонталном правцу од инерционе и гравитационе силе заједно на брзину скока у вертикалном правцу.

Максимална снага при истовременој примени гравитационе и инерционе компоненте оптерећења ($\Gamma+I$) остварена је при средњој вредности укупне величине оптерећења. Део објашњења ефеката компоненти оптерећења на максималну снагу при избачају може се добити из варијабле максималне брзине и максималне силе, иако се тренутак достизања њихових максималних вредности ни близу не подудара (за детаља видети слику 1). Узимајући у обзир да се снага може израчунати као производ силе и брзине покрета, због благог повећања максималне силе и значајног опадања брзине, инерциона компонента оптерећења изазвала је постепено смањење максималне снаге током читавог опсега примењиваног оптерећења у избачају.

Овакви резултати су у складу са предходним истраживањима, односно резултатима добијеним из механичких модела изолованог мишићно-тетивног комплекса (Galantis i Woledge, 2003), који указују да оптерећење „чистом“ инерцијом само продужава трајање извођења одређеног покрета, док негативно утиче на динамички излаз. Истраживања на дискретним једнозглобним покретима, као што је брз покрет у зглобу лакта, показала су да инерционо оптерећење утиче на продужење трајања покрета, као и на повећање мишићне активности антагониста али не и мишића агониста у вршењу покрета (Corcos i sar., 1993; Јарић и сар., 1998).

Ефекат Γ оптерећења може да представља нови налаз у литератури. На основу добијених резултата може се спекулисати да би даље повећање величине Γ оптерећења довело до достизања максималне снаге а потом до њеног пада, јер би се брзина неизбежно смањила како би се интезитет оптерећења приближавао понављајућем максимуму (1ПМ).

Друго објашњење константног пораста максималне снаге са повећањем Γ оптерећења може бити то што је максималан интезитет Γ оптерећења, које је примењивано у овом истраживању, можда било нешто испод 80% од 1ПМ, јер је недостајала инерциона компонента која је деловала када је вршен тест 1ПМ. Ипак, ова појава константног повећања максималне снаге са Γ оптерећењем остаје да се детаљније испита.

Разлике у значајности ефеката гравитационе и инерционе силе на динамичка својства мишића руку и ногу могу се тражити у природи изведених покрета, али и интезитету примењиваних оптерећења у два изведена експеримента. Избачај из лежећег положаја на клупи, као што је већ речено, одвија се у условима релативно непромењене шеме извођења, док су скокови покрети са већом могућности прилагођавања. Међутим, основну разлику у два изведена експеримента представљају величине примењиваних спољашњих оптерећења. У скоковима, интезитет оптерећења износио је 10 - 40% од телесне масе, односно приближно 35 кг када је интезитет спољашњег оптерећења био једнак 40% од телесне масе (за детаље погледати методе), док је максималан интезитет спољашњег оптерећења у избачају износио 80 кг ($PO+60\%1ПМ$). Дакле, неупоредиво већи интезитет спољашњег (придодатог Γ , $\Gamma+И$, $И$) оптерећења примењиван је у избачају.

Емпиријски резултати показују да оптерећења која су већа од 40% од масе тела значајно мењају механичку шему извођења скока код младих физичких активних особа (Марковић и Јарић, 2007; Марковић и сар., 2011). Узимајући у обзир податак да на редовним тестирањима мишићне јачине студената факултета, просечно максимално подигнуто оптерећење из чучња износи 120 кг, а да се при том супростављају и сопственој тежини тела ($\approx 80\text{кг}$), чини се да примењено оптерећење у задацима $СВ$ и $С_{\text{пч}}$ (10-40% од телесне масе) одговара 15 % њихове максималне јачине мишића екстензора ногу. Док у задатку избачаја оптерећење при максималном интезитету одговара 80% максималне јачине мишића раменог појаса и руку. Овим би се могли објаснити релативно слаби ефекти типа оптерећења на перформансе мишића ногу и, са друге стране, значајнији ефекти на перформансе мишића руку.

Посматрано са методолошког аспекта, важно је истаћи да су ово прва истраживања која испитују селективне ефекте гравитационе и инерционе компоненте оптерећења на механичку шему и динамички излаз балистичких покрета. Треба имати на уму да је применом коваријације оптерећења, односно тегова и негативног константног растерећења, у циљу изоловања инерционе силе, већ испитиван утицај ове врсте оптерећења на покретима који се реализују у хоризонталном правцу (De Witt i sar., 2008; Teunissen i sar., 2007).

У будућим истраживањима требало би коришћењем лакших шипки смањити референтна оптерећења и на тај начин прецизније сагледати жељене ефекте. Такође, примена еластичних гума (Γ) са мањом променом силе у току амплитуде избачаја може утицати на добијене резултате. У том циљу могу се користити или дуже или гуме са већим коефицијентом еластичности. Ови подаци, заједно са ЕМГ снимцима и већим бројем тестираних задатака у дизању, могу да обезбеде основу за разрађенија биомеханичка и истраживања неуралне контроле механизма, који доводе до селективних ефеката инерције и гравитације на задатке подизања (избачаја). Анализом добијених резултата, могу се видети укупни ефекти као и издвојени ефекти компоненти оптерећења (Γ, I). Што се тиче укупних ефеката примењених оптерећења на тестиране задатке, треба имати на уму неколико методолошких разлика које могу бити одговорне за делом недоследне налазе у литератури. Повећањем интезитета примењиваних спољашњих оптерећења очекивано је да дође до измене у кинематици и кинетици одређених задатака у циљу максимализације учинка (као што је брзина покрета) и механички излаз (као што је максимална снага, Baker i sar., 2001a,b; Newton i Kraemer, 1994; Wilson i sar., 1993).

Динамички параметри, максималних вертикалних скокова ($CB, CB_{пч}$), процењивани су добијеним вредностима средње и максималне снаге (P_{mean}, P_{peak}). Резултати ове студије показују да су вредности снаге опадале са повећањем интезитета оптерећења, посебно максималног скока увис. Према томе, може се рећи да су добијени резултати у складу са предходно постављеном хипотезом максималног динамичког излаза (Јарић и Марковић, 2009) према којој је мишићни систем ногу тако дизајниран да производи највећи динамички излаз када је оптерећен само тежином и инерцијом сопственог тела (Argus i sar., 2011; Марковић и Јарић, 2007; Nuzzo i sar., 2010).

Оно што може бити ограничавајући фактор у доношењу закључака о оптимализацији спољашњег оптерећења јесте чињеница да у овој студији није примењивано негативно оптерећење ($<100\Gamma$), већ само појачан интезитет појединих компоненти оптерећења. Према томе, дискутовање укупних ефеката спољашњег оптерећења, на максималне скокове увис, било би могуће ако би се применио шири опсег спољашњег оптерећења (нпр. од негативног до позитивног) на задацима скокова са и без замахом рукама. У складу са проблемом овог истраживања, ефекти смањене гравитационе и инерционе компоненте оптерећења на балистичке покрете могу бити предмет будућих истраживања

Очигледан теоријски значај резултата овог истраживања постоји. Једна од основних, теоријских, вредности јесте могућност да се истражи да ли постоји независна стратегија адаптације организма на промене интезитета гравитационе и инерционе силе у задацима који се реализују у вертикалном правцу, као што могу бити у задацима ходања и трчања (De Witt i sar., 2008). Стога, будућа истраживања требало би да открију механизме укључене у селективне ефекте гравитационе и инерционе силе на обрасце извођења покрета који се реализују у вертикалном правцу.

ЗАКЉУЧАК

Узимајући у обзир чињеницу да до сада није било сазнања о селективним ефектима инерционе и гравитационе компоненте оптерећења на балистичке покрете, може се рећи да је дефинисање проблема овог истраживања ново поглавље у оптимализацији примене оптерећења у тренингу, рехабилитацији, превенцији и др.

Истраживања ефеката гравитационе и инерционе компоненте оптерећења на динамичка својства мишића ногу и руку реализована су применом нове методе за селективну и истовремену примену гравитационе и инерционе компоненте оптерећења. У односу на досадашње студије које су се бавиле оптерећењем у тренингу снаге, ово истраживање реализовано је на задацима који се реализују у вертикалном правцу, чиме је задовољена неопходна колинеарност сила. Такође, посматрани су укупни и селективни ефекти обе компоненте оптерећења на задатке максималних вертикалних скокова (перформансе мишића ногу) и максималног избачаја из лежећег положаја на клупи (перформансе мишића руку и раменог појаса).

Добијени резултати истраживања ефеката компоненти оптерећења на динамичка својства мишића ногу показали су да са повећањем величине оптерећења долази до пораста вертикалне компоненте силе реакције подлоге и смањења перформанси скока и мишићне снаге. Међутим, значајнији су налази према којима Г, Г+И и И оптерећења различито утичу на перформансе скокова, иако је опсег примењиваних оптерећења био релативно мали.

Повећање интезитета гравитационе компоненте оптерећења повезано је са најмањим изменама у кинематичкој шеми скока и најмањом редуkcијом перформанси скока, омогућавајући истовремено и највећи динамички излаз. Док су најниже вредности силе и максималне снаге у извођењу скокова забележени у ситуацијама повећања инерционе компоненте оптерећења (И).

Узимајући све у обзир, проблем који је анализиран има значај и са теоријског и са практичног становишта. Теоријска вредност налаза овог истраживања огледа се у разумевању фундаменталних карактеристика и могућности неуромускуларног система човека и његове адаптације. Дакле, са теоријске стране

проблем истраживања је фундаменталног карактера и бави се природом одговора локомоторног апарата на природне силе које перманентно делују на човека у свакодневним активностима. Практична вредност разумевања утицаја појединих компоненти оптерећења на перформансе комплексних задатака, огледа се у правцу добијања корисних информација повезаних са оптимизацијом у различитим тренажним и рехабилитационим процедурама, што недвосмислено указује на потребу даљих истраживања у овом овом пољу.

Добијени резултати говоре у прилог примене оптерећења које потиче од гравитационе компоненте (као што су еластичне гуме или еластичне опруге, у односу на најчешће коришћена оптерећења теговима (подједнак утицај Г и И компоненте), јер ће се на тај начин обезбедити сличан интезитет силе, али са већом брзином извођења покрета. Дакле, примена искључиво гравитационог оптерећења може обезбедити и велику брзину покрета и висок динамички излаз мишића.

У циљу прецизнијег разумевања неромускуларног система и његове адаптације на силе и оптерећења са којима долази у непосредан контакт, потребно је урадити истраживања и на осталим врстама вертикалних скокова, као и другим експлозивним покретима који се реализују у вертикалном правцу. Такође, потребно је упоредити утицај компоненти оптерећења на максимални скок увис са и без замаха рукама, избачај из лежећег положаја на клупи са и без могућности прилагођавања (са тренажером или без). Коначно, потребно је свеобухватном проценом кинематичких, кинетичких и миоелектричних параметара тражити одговор о неуралној контроли механизма који доводе до прилагођавања шеме и перформанси покрета различитим врстама оптерећења.

Такође, студија адаптације неуромишићног апарата на одређену врсту оптерећења, у дужем временском периоду (тренинг) у многоме би помогла када је у питању оптимизација тренажних и рехабилитационих процедура.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anderson CE, Sforzo GA, Sigg JA. The effects of combining elastic and free weight resistance on strength and power in athletes. *J Strength Cond Res* 2008;22(2):567-74
2. Argus CK, Gill ND, Keogh JW, Hopkins WG. Assessing Lower-Body Peak Power in Elite Rugby-Union Players. *J Strength Cond Res* 2011;
3. Baker D, Nance S, Moore M. The load that maximizes the average mechanical power output during explosive bench press throws in highly trained athletes. *J Strength Cond Res* 2001a;15(1):20-4
4. Baker D, Nance S, Moore M. The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power-trained athletes. *J Strength Cond Res* 2001b;15(1):92-7

5. Cavagna GA, Zamboni A, Faraggiana T, Margaria R. Jumping on the moon: power output at different gravity values. *Aerosp Med* 1972;43(4):408-14
6. Chang YH, Huang HW, Hamerski CM, Kram R. The independent effects of gravity and inertia on running mechanics. *J Exp Biol* 2000;203(Pt 2):229-38
7. Corcos DM, Jaric S, Agarwal GC, Gottlieb GL. Principles for learning single-joint movements. I. Enhanced performance by practice. *Exp Brain Res* 1993;94(3):499-513
8. Cormie P, McCaulley GO, McBride JM. Power versus strength-power jump squat training: influence on the load-power relationship. *Med Sci Sports Exerc* 2007b;39(6):996-1003
9. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 1 - biological basis of maximal power production. *Sports Med* 2011a;41(1):17-38
10. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med* 2011b;41(2):125-46
11. Cronin JB, Mcnair PJ, Marshall RN. The role of maximal strength and load on initial power production. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32:1763–1769
12. Cronin J, Sleivert G. Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Med* 2005;35(3):213-34
13. De Witt JK, Hagan RD, Cromwell RL. The effect of increasing inertia upon vertical ground reaction forces and temporal kinematics during locomotion. *J Exp Biol* 2008;211(Pt 7):1087-92
14. Galantis A, Woledge RC. The theoretical limits to the power output of a muscle-tendon complex with inertial and gravitational loads. *Proc Biol Sci* 2003;270(1523):1493-8
15. Gosseye TP, Willems PA, Heglund NC. Biomechanical analysis of running in weightlessness on a treadmill equipped with a subject loading system. *Eur J Appl Physiol* 2010;110(4):709-28
16. Griffin TM, Tolani NA, Kram R. Walking in simulated reduced gravity: mechanical energy fluctuations and exchange. *J Appl Physiol* 1999;86(1):383-90
17. Jaric S, Gottlieb GL, Latash ML, Corcos DM. Changes in the symmetry of rapid movements. Effects of velocity and viscosity. *Exp Brain Res* 1998; 120:52-60
18. Jaric S. Changes in movement symmetry associated with strengthening and fatigue of agonist and antagonist muscles. *J Mot Behav* 2000;32(1):9-15
19. Jaric S, Markovic G. Leg muscles design: the maximum dynamic output hypothesis. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41(4):780-7
20. Markovic G, Jaric S. Positive and negative loading and mechanical output in maximum vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39(10):1757-64
21. Markovic G, Vuk S, Jaric S. Effects of Jump Training with Negative versus Positive Loading on Jumping Mechanics. *Int J Sports Med* 2011;32(5):365-72
22. McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU. A comparison of strength and power characteristics between power lifter, olympic lifters, and sprinters. *J Strength Cond Res* 1999;13(1):58-66

23. McMahon TA. Muscles, reflexes, and locomotion. Princeton: Princeton University Press, 1984
24. Newton RU, Kraemer WJ. Developing explosive muscular power: implications for a mixed methods training strategy. *Strength Cond J* 1994;16(20-31)
25. Nuzzo JL, McBride JM, Dayne AM, Israetel MA, Dumke CL, Triplett NT. Testing of the maximal dynamic output hypothesis in trained and untrained subjects. *J Strength Cond Res* 2010;24(5):1269-76
26. Samozino P, Rejc E, Di Prampero PE, Belli A, Morin JB. Optimal force-velocity profile in ballistic movements - altius: citius or fortius. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44:313-22
27. Teunissen LP, Grabowski A, Kram R. Effects of independently altering body weight and body mass on the metabolic cost of running. *J Exp Biol* 2007;210(Pt 24):4418-27
28. Vuk S, Markovic G, Jaric S. External loading and maximum dynamic output in vertical jumping: The role of training history. *Hum Mov Sci* 2011; 31:139-151
29. Wallace BJ, Winchester JB, McGuigan MR. Effects of elastic bands on force and power characteristics during the back squat exercise. *J Strength Cond Res* 2006;20(2):268-72
30. Wilson GJ, Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25(11):1279-8
31. Zatsiorsky V, Kraemer W. *Nauka i praksa u treningu snage*. Beograd: Data status, 2009.