

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Bojan J. Leontijević

**EFEKTI INERCIONOG I
GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA
BALISTIČKE POKRETE**

doktorska disertacija

Beograd, 2012

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Bojan J. Leontijević

**THE EFFECTS OF INERTIAL AND
GRAVITATIONAL LOADS ON BALLISTIC
MOVEMENTS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2012

Mentor:

1. Redovni profesor dr Miloš Kukolj, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja,
Univerzitet u Beogradu
-

Članovi komisije:

1. Redovni profesor dr Slobodan Jarić, Department of Kinesiology and Applied
Physiology, University of Delaware;
-

2. Redovni profesor dr Slobodan Stojiljković, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja,
Univerzitet u Nišu.
-

Datum odbrane: _____

Efekti inercionog i gravitacionog opterećenja na balističke pokrete

Rezime:

Problem istraživanja je fundamentalnog karaktera i formulisan je na osnovu metodoloških nedostataka istraživanja u kojima je ispitivan uticaj komponenti opterećenja na kinetičke i kinematičke parametre određenih zadataka. Problem u istraživanju je ispitivanje uticaja inercione i gravitacione komponente opterećenja na balističke pokrete. Ovaj problem, do sada, istraživani su na pokretima koji se realizuju u horizontalnoj ravni, međutim, zbog neophodne kolinearnosti komponenti opterećenja, mogućnost upoređivanja gravitacione i inercione komponente opterećenja postoji samo u pokretima koji se odvijaju u vertikalnom pravcu. Zbog toga ne postoje metodološki validne informacije o efektima pojedinih komponenti opterećenja na kretanje čoveka. Uticaj komponenti opterećenja, u ovom istraživanju, ispitivan je na zadacima maksimalnih skokova uvis i izbačaja iz ležećeg položaja na klupi. Na taj način, ispitivan je uticaj inercione i gravitacione sile na dinamička svojstva mišića ruku i mišića nogu. Takođe, uticaj pomenutih komponenti opterećenja na zadatke koji se realizuju u vertikalnom pravcu ispitivan je na pokretima sa većim i manjim brojem stepeni slobode, tako što je efekat komponenti opterećenja na dinamička svojstva mišića nogu ispitivan u zadacima maksimalnog skoka uvis sa zamahom rukama (SV) i maksimalnog skoka uvis iz polučučnja bez zamaha rukama (SV_{pc}).

Za potrebe ovog istraživanja korišćena je potpuno nova tehnika (trenažer) kojom se istovremeno ili selektivno uticalo na intezitet inercione i gravitacione komponente spoljašnjeg opterećenja. Simulacija gravitacione komponente opterećenja proizvedena je primenom konstantnog elastičnog opterećenja (elastične gume), istovremeno delovanje inercione i gravitacione komponente opterećenja obezbeđeno je dodavanjem tegova, a izolovano delovanje inercione sile omogućeno je neutralisanjem gravitacione komponente spoljašnjeg opterećenja (tegova), primenom elastičnog rasterećenja.

U istraživanjima je učestvovalo ukupno 30 ispitanika, studenata Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu. Ispitanici su zadatke izvodili u četiri uslova (nezavisne varijable): bez opterećenja, sa pojačanom gravitacionom komponentom (G), pojačanom gravitacionom + inercionom komponentom (G+I) i

pojačanom inercionom komponentom opterećenja (I). Opseg primenjivanih opterećenja u zadacima skokova bio je od 10 do 40 % od telesne mase ispitanika, dok se intezitet opterećenja u zadatku izbačaja kretao od 30 do 80 % od ponavljajućeg maksimuma (1PM) u potisku iz ležećeg položaja na klupi. Intezitet komponenti opterećenja pridodat je referentnom opterećenju (masa šipke) koje je uvek bilo prisutno tokom izbačaja ($\approx 20\%$ 1PM).

Uticaj komponenti opterećenja na dinamička svojstva mišića procenjivan je na osnovu praćenja zavisnih varijabli u različitim uslovima izvođenja zadataka:

Skok uvis (SV) - Maksimalno spuštanje centra mase tokom ekscentrične faze skoka (Δh_{ecc}), Trajanje koncentrične faze skoka (T_{conc}), Maksimalna brzina (V_{max}), Sila reakcije podloge u momentu prelaska iz ekscentrične u koncentričnu fazu skoka (F_{trp}), Maksimalna sila reakcije podloge tokom koncentrične faze (F_{max}), Srednja snaga (P_{mean}) i Maksimalna snaga u koncentričnoj fazi skoka (P_{max});

Skok uvis iz polučučnja ($SV_{pč}$) - Maksimalna brzina kretanja (V_{max}), Trajanje koncentrične faze skoka (T_{conc}), Maksimalna sila reakcije podloge (F_{max}), Srednja snaga (P_{mean}) i Maksimalna snaga (P_{max});

Izbačaj iz ležećeg položaja na klupi (I_{pk}) - Maksimalna sila (F_{max}), Maksimalna brzina (V_{max}), Maksimalna snaga (P_{max}), Vreme dostizanja maksimalne sile (T_{fmax}), Vreme dostizanja maksimalne brzine (T_{vmax}) i Vreme dostizanja maksimalne snage (T_{pmax}).

U zadacima skokova, zapisi sile vertikalne komponente reakcije podloge snimani su pomoću platforme sile (AMTI, Inc., Newton MA, USA), na osnovu kojih su se dalje, metodom direktne dinamike, računale ostale zavisne varijable. U zadacima izbačaja, uz pomoć optičkog enkodera (Fitro-dyne, Bratislavia, Slovakia) merena je brzina pomeraja šipke, na osnovu koje su se, metodom inverzne dinamike, dobijale vrednosti zavisnih varijabli.

Efekat tipa (G, G+I, I) i veličine primenjivanih komponenti opterećenja na sve zavisne varijable testiran je pomoću 3x4 dvofaktorske analize varijanse (ANOVA) za skokove i 3x6 dvofaktorske analize varijanse (ANOVA) za izbačaj.

Dobijeni rezultati istraživanja efekata komponenti opterećenja na dinamička svojstva mišića nogu pokazali su da sa povećanjem veličine opterećenja dolazi do porasta vertikalne komponente sile reakcije podloge i smanjenja performansi skoka i

mišićne snage. Međutim, značajniji su nalazi prema kojima G, G+I i I opterećenja različito utiču na performanse skokova, iako je opseg primenjivanih opterećenja bio relativno mali. Povećanje inteziteta gravitacione komponente (G) opterećenja povezano je sa najmanjim izmenama u kinematičkoj šemi skoka i najmanjom redukcijom performansi skoka, omogućavajući istovremeno i najveći dinamički izlaz. Dok su najniže vrednosti sile i maksimalne snage u izvođenju skokova zabeležena u situacijama povećanja inercione komponente opterećenja (I). Posmatrajući uticaj različitih komponenti opterećenja na zavisne varijable, dve različite vrste skoka, može se konstatovati da su efekti slični ali ipak značajniji kod maksimalnog skoka uvis u odnosu na skok uvis iz polučučnja. Dakle, selektivna primena komponenti opterećenja imala je veći uticaj na pokret sa većom mogućnosti prilagođavanja (SV). Dobijeni rezultati ukazali su na značajnije efekte gravitacione i inercione komponente opterećenja na performanse izbačaja u odnosu na dobijene efekte u skokovima. Gravitaciona komponenta opterećenja (G) povezana je sa najmanjim opadanjem brzine pokreta (V_{peak}) i najvećim povećanjem maksimalne snage (P_{peak}). Istovremena primena gravitacionog i inercionog opterećenja (G+I) dovela je do značajnog smanjenja maksimalne brzine, dok je maksimalna snaga zabeležena u srednjim intervalima veličine opterećenja. Selektivna primena inercione komponente opterećenja (I) pokazala je relativno niske vrednosti maksimalne sile i postepeno opadanje maksimalne snage. Dakle, efekti tipa opterećenja na performanse mišića ruku bili su značajnije izraženi u odnosu na performanse mišića nogu.

Vrednost dobijenih rezultata ovim istraživanjima može se sagledati i sa teorijskog i sa praktičnog aspekta. Teorijski značaj nalaza ovih istraživanja ogleda se u razumevanju fundamentalnih karakteristika i mogućnosti neuromuskularnog sistema čoveka i njegove adaptacije, odnosno u prirodi odgovora lokomotornog aparata na prirodne sile koje permanentno deluju na čoveka u svakodnevnim aktivnostima. Praktična vrednost razumevanja uticaja pojedinih komponenti opterećenja na performanse kompleksnih zadataka, ogleda se u smislu dobijanja korisnih informacija povezanih sa optimalizacijom u različitim trenažnim i rehabilitacionim procedurama, što nedvosmisleno ukazuje na potrebu daljih istraživanja u ovom polju. Konkretno, dobijeni rezultati govore u prilog primene opterećenja koje potiče od gravitacione komponente (kao što su elastične gume ili elastične opruge, u odnosu na najčešće

korišćena opterećenja tegovima (podjednak uticaj G i I komponente), jer će se na taj način obezbediti sličan intezitet sile ali u većoj brzini izvođenja pokreta. Dakle, primena isključivo gravitacionog opterećenja može obezbediti i veliku brzinu pokreta i visok dinamički izlaz mišića.

Ključne reči: gravitacija, inercija, mišić, sposobnost, sila, snaga, brzina, skok uvis, izbačaj.

Naučna oblast: sport i fizičko vaspitanje

Uža naučna oblast: opšta motorika čoveka

UDK broj: 796.012.1 (043.3)

The Effects of Inertial and Gravitational Loads on Ballistic Movements

Summary:

The problem of research has fundamental character and is formulated based on the methodological shortcomings of the researches where the influence of load components on kinetic and kinematic parameters of specific tasks was researched. The purpose of this research is examining the influence of inertial and gravitational component of load on ballistic movements. This problem has been examined so far on the movements realized in horizontal direction. However, due to the necessity of load components colinearity, there is a possibility of comparing gravitational and inertial load component only in movements realized in vertical direction. Therefore, there is no methodologically valid information about the effects of specific load components on person's 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. Furthermore, the influence of these load components on the tasks realized in vertical direction has been examined on the movements with bigger and smaller number of degree of liberty. The effect of load components on dynamic features of leg muscles has been examined in the tasks of maximum counter movement jump with arm swing (CMJ) and maximum squat jump without arm swing (SJ).

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. Gravitational load component simulation has been produced by using constant elastic load (elastic band), simultaneously, the effect of inertial and gravitational load components has been provided by adding weights, and isolated effect of inertial force by neutralizing gravitational component of external load (weights) by applying elastic discharging.

The total of 30 respondents, students of Faculty of Sport and Physical Education, University of Belgrade, 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 range of applied loads in the jump tasks has been 10 to 40% of the respondent's weight, while the load intensity in the bench press throw task ranged from 30 to 80% of one repetitive maximum (1RM) in bench press throws. The intensity of the load components has been added to the load of reference (weight of the rod) which has been present in every throw ($\approx 20\%$ 1RM)

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:

Counter movement jump (CMJ) - Maximum lowering of the mass center during the eccentric stage of the jump (Δh_{ecc}), Duration of the concentric stage of the jump (T_{conc}), Maximum speed (V_{max}), Force of ground reaction in the moment of going from the eccentric into concentric stage of the jump (F_{trp}), Maximum force of the ground reaction during concentric stage of the jump (F_{max}), Mean power (P_{mean}) and Maximum power in the concentric stage of the jump (P_{max});

Squat jump (SJ) - Maximum movement speed (V_{max}), Duration of the concentric stage of the jump (T_{conc}), Maximum force of ground reaction (F_{max}), Mean power (P_{mean}) and Maximum power (P_{max});

Bench press throw (B_{pt}) – Maximum force (F_{max}), Maximum speed (V_{max}), Maximum power (P_{max}), Time of reaching maximum force (T_{fmax}), Time of reaching maximum speed (T_{vmax}) and Time of reaching maximum power (T_{pmax}).

In the jump tasks, the force records of the vertical component of the ground reaction have been made by using force platforms (AMTI, Inc., Newton MA, USA), based on which, further on, the other dependent variables have been calculated using the method of direct dynamics. In the throw tasks the speed of rod movement has been measured using optical encoder (Fitro-dyne, Bratislava, Slovakia), based on which the dependent variables have been calculated using the method of inverse dynamics.

The effect of (G, G+I, I) type and magnitude of applied load components on all dependent variables have been tested by using 3x4 two-way analysis of variance (ANOVA) for jumps and 3x6 two-way analysis of variance (ANOVA) for throw.

The findings of the research into effects of load components on dynamic features of leg muscles have shown that an increase in load leads to an increase in vertical component of ground reaction force and a decrease in jump performance and muscle

power. However, the findings which are more important are that G, G+I i I loads have different influence on jump performance, although the range of applied loads has been relatively small. The increase in intensity of gravitational load component (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, while the lowest values of force and maximum power in jump performance have been recorded in the situations of increased inertial load component (I). Looking at the influence of different load components on dependent variables, two different types of jumps, it can be concluded that the effects are similar, but are more important in maximum counter movement jump than in squat jump. Therefore, selective application of load components has had a bigger influence on the movements with bigger possibility of adaptation (CMJ). The findings point to the significant effects of gravitational and inertial load component on the throw performance in comparison with the effects on jumps. Gravitational load component (G) is related to the smallest decrease in movement speed (V_{peak}) and the biggest increase in Maximum power (P_{peak}). Simultaneous application of gravitational and inertial load (G+I) leads to a significant decrease in maximum speed, while the maximum power has been recorded in mean intervals of load magnitude. Selective application of inertial load component (I) has shown that relatively low values of maximum force and a gradual decrease in maximum power. Therefore, the effects of the type of load on arm muscle performances are more significant than on the leg muscle performances.

The importance of the findings gathered in this research can be looked at from the theoretical and practical aspect. The theoretical importance of these findings lies in the understanding of fundamental characteristics and possibilities of human neuromuscular system and its adaptation, i.e. in the nature of locomotor apparatus responses to the natural forces which have a permanent effect on humans in everyday life. The practical importance of understanding the influence of specific load components on performing complex tasks lies in direction of obtaining useful information related to optimization in various training and rehab procedures, which undoubtedly emphasizes the need for further research in this field. More precisely, these 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. Therefore, application of gravitational load exclusively can provide big movement speed and high dynamic muscle exit.

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

Scientific field: Sports and Physical Education

Narrower scientific field: human general motor skills

UDK number: 796.012.1 (043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD	14
1.1. OPTEREĆENJE I PRIMENA OPTEREĆENJA	15
1.2. KLASIFIKACIJA OPTEREĆENJA	17
1.2.1. Vrste opterećenja	18
1.2.1. Komponente opterećenja	20
1.3. MOGUĆNOST IZOLOVANJA KOMPONENTI OPTEREĆENJA	22
1.4. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA.....	24
1.4.1. Rezultati efekata komponenti opterećenja na kretanje.....	26
1.4.2. Nedostaci i ograničenja dosadašnjih istraživanja.....	29
2. PRELIMINARNO ISTRAŽIVANJE EFEKATA INERCIONOG I GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA MAKSIMALNI SKOK UVIS	31
2.1. METODE ISTRAŽIVANJA	32
2.2. REZULTATI I DISKUSIJA.....	37
2.3. ZAKLJUČCI PRELIMINARNIH ISTRAŽIVANJA.....	40
3. PROBLEM, PREDMET, CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA.....	43
3.1. ISTRAŽIVANJE EFEKATA INERCIONOG I GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA DINAMIČKA SVOJSTVA MIŠIĆA NOGU	45
3.2. ISTRAŽIVANJE EFEKATA INERCIONOG I GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA DINAMIČKA SVOJSTVA MIŠIĆA RUKU	45
4. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	46
5. METODE ISTRAŽIVANJA	47
5.1. ISTRAŽIVANJE EFEKATA INERCIONOG I GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA DINAMIČKA SVOJSTVA MIŠIĆA NOGU.....	47
5.1.1. Uzorak ispitanika	47
5.1.2. Tok i postupci istraživanja.....	48
5.1.3. Uzorak varijabli i način njihovog merenja.....	49
5.1.3.1. Varijable za procenu morfološkog statusa	49
5.1.3.2. Varijable za procenu dinamičkih svojstava mišića nogu	50
5.1.4. Prikupljanje i obrada podataka	52
5.1.5. Statistička analiza	53

5.2. ISTRAŽIVANJE EFEKATA INERCIONOG I GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA DINAMIČKA SVOJSTVA MIŠIĆA RUKU	53
5.2.1. Uzorak ispitanika	53
5.2.2. Tok i postupci istraživanja	54
5.2.3. Uzorak varijabli i način njihovog merenja	56
5.2.3.1. Varijable za procenu morfološkog statusa	56
5.2.3.2. Varijable za procenu dinamičkih svojstava mišića ruku	57
5.2.4. Prikupljanje i obrada podataka	58
5.2.5. Statistička analiza	58
6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	60
6.1. REZULTATI ISTRAŽIVANJA EFEKATA INERCIONOG I GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA DINAMIČKA SVOJSTVA MIŠIĆA NOGU	60
6.2. REZULTATI ISTRAŽIVANJA EFEKATA INERCIONOG I GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA DINAMIČKA SVOJSTVA MIŠIĆA RUKU	68
7. DISKUSIJA	72
8. ZAKLJUČAK	83
9. LITERATURA	86
10. PRILOZI	91
11. BIOGRAFIJA AUTORA	96

1. UVOD

U svakodnevnim aktivnostima čovek se suprostavlja gravitacionoj i inercionoj sili segmenata svoga tela, kao i predmeta sa kojima dolazi u neposredan kontakt. U zavisnosti od oblika kretanja koji se upražnjava zavisice i intezitet pomenutih komponenti opterećenja koje u datom trenutku deluju na čoveka. Prema tome, u pokretima koji se odvijaju u vertikalnom pravcu (skok uvis, čučanj, izbačaj i dr) lokomotorni aparat uglavnom se suprostavlja gravitacionoj sili, dok u pokretima u horizontalnom pravcu (hodanje, trčanje i dr) najveći deo energije troši se na suprostavljanje inercionoj sili segmenata tela koja se javlja prilikom ubrzavanja i usporavanja nogu i ruku u toku realizacije ovih kretnih aktivnosti (McMahon, 1984; Teunissen i sar., 2007). Kod aktivnosti koje imaju i vertikalnu i horizontalnu komponentu, kao što je na primer skok udalj, intezitet gravitacionog i inercionog opterećenja zavisice od rezultante vertikalne i horizontalne sile reakcije podloge, a lokomotorni aparat će se suprostavljati i jednoj i drugoj komponenti opterećenja.

Kvantitativne i kvalitativne analize kretanja usmerene su ka identifikaciji optimalnih uslova za izvođenje određenih pokreta, u funkciji povećanja njegove efikasnosti. Efikasnost određene kretne aktivnosti definiše se kroz ekonomičnost u utrošku energije i generisanje maksimalnog dinamičkog izlaza. Ekonomičnost kretne aktivnosti postiže se usavršavanjem tehnike izvođenja, koja se javlja kao posledica međumišićne koaktivacije, „upravljanja“ mišićnom aktivacijom i korišćenjem povratnih informacija iz receptora. Sa druge strane mogućnost generisanja sile kao kinetičke karakteristike i snage kao dinamičke, predstavlja osnovnu determinantu sposobnosti u datoj kretnoj aktivnosti.

Efikasnost rada izolovanog mišića ili mišićne grupe može se testirati u zavisnosti od uslova pod kojima se pokret izvodi. Jedno od osnovnih pitanja u cilju efikasnosti rada jeste vrsta pokreta koja se izvodi (jednozglobni, višezglobni). Sem toga, vrsta mišićne kontrakcije (koncetrična, ekscentrična, izometrijska), koja se primenjuje ima različite efekte na efikasnost rada

Kada su jasno precizirani pokret i vrsta mišićne kontrakcije, istraživani problemi uticaja opterećenja na efikasnost izvođenja određenog zadatka su: primene različitih vrsta opterećenja (otpor elastičnih predmeta, konstantno, izoinercijalno), različitih

inteziteta opterećenja (IRM%) i različitih komponenti opterećenja (gravitaciona, inerciona). Kada su u pitanju vrste i intezitet opterećenja, istraživanja pokazuju konzistentnost u nalazima, međutim, uticaj različitih komponenti opterećenja nije istraživan u kretanjima koja se odvijaju u vertikalnom pravcu. Postoji određen broj studija u kojima je ovaj problem analiziran na pokretima kao što su hodanje i trčanje (Chang i sar., 2000; De Witt i sar., 2008), ali u ovim istraživanjima postoji određen broj metodoloških nedostataka.

1.1. OPTEREĆENJE I PRIMENA OPTEREĆENJA

Različiti oblici opterećenja, kojima se lokomotorni aparat čoveka u svakodnevnim aktivnostima suprostavlja, potiču od opterećenja sopstvenog tela i opterećenja predmeta sa kojima dolazi u kontakt. Mišićni sistem koji direktno proizvodi određene pokrete, uz pomoć koštanog i vezivnog tkiva, predstavlja osnovni mehanizam pomoću koga čovek realizuje kretanje. Efikasnost tog kretanja zavisi od sposobnosti mišića da proizvede potrebnu snagu za izvođenje pokreta. Dakle, da bi se čovek efikasnije kretao i bio produktivniji u poslovima koje obavlja, mora da razvije sposobnost mišića i mišićnih grupa da generišu veću snagu.

Adaptacioni procesi lokomotornog aparata, koji se javljaju kao odgovor na izvođenje određenih zadataka u dužem vremenskom periodu, izazvali su veliko interesovanje istraživača. Nalazi jednog broja radova, koji su se bavili mišićnom adaptacijom, ukazuju da se mehanička i fiziološka svojstva mišića menjaju pod uticajem određene fizičke aktivnosti (Zatsiorsky i Kraemer, 2009; Cormie i sar., 2011a; 2011b; Cronin i sar., 2005). Istraživanja koja su se bavila maksimalnim dinamičkim izlazom kod vertikalnih skokova, na osnovu dobijenih rezultata, definisala su hipotezu prema kojoj je dinamička sposobnost lokomotornog aparata najveća u zadacima i uslovima koji su najpribližniji svakodnevnim aktivnostima čoveka, dakle u onim uslovima kojima je čovek u dužem vremenskom periodu izložen, prema kojima se adaptirao (Marković i Jarić, 2007; Jarić i Marković, 2009; Nuzzo i sar., 2010). U skaldnu sa ovom pretpostavkom, sposobnost određenog mišića može se povećati ukoliko se u

kontinuitetu primenjuje aktivnost koja je većeg inteziteta ili obima od predhodnog. Najveću potrebu za poboljšanje svojih performansi, u cilju postizanja boljih rezultata, imaju sportisti. Zbog toga što se dodatno opterećenje koristi u treningu kao sredstvo pomoću koga se mišić izlaže većem naporu (intezitetu ili obimu) kako bi se adaptacionim procesima uticalo na mehaničke i fiziološke sposobnosti mišića.

Prvi trag o treningu sa opterećenjem predstavlja crtež na zidovima kapele u Beni-Hassanu u Egiptu, crtež koji je izrađen pre 4500 godina i prikazuje tri figure u različitim položajima podizanja iznad glave nečeg što izgleda kao teška vreća (Pearl i Moran, 2009). Trening sa opterećenjem, najčešće sa tegovima, pominje se u Homerovim pesmama, narodnim igrama i običajima raznih kultura tokom evolucije čovečanstva. U toku istorijskog razvoja, opterećenje se može sresti i u vidu podizanja i nošenja teških predmeta, cepanja drvenih greda, povlačenja konopca, pa sve do podizanja i nošenja bika (mit prema kojem je Milon Krotonski 558 g.p.n.e dizao prvo tele, a zatim, kako je tele raslo, a on jačao, uspeo da podigne bika). U savremenoj tehnologiji treninga opterećenje je precizno određeno, upotrebom sprava pomoću kojih se izolovanim pokretom stimuliše rad određenih mišićnih grupa. Način primene opterećenja zavisiće od prirode sportske grane kojom se sportista bavi, perioda treninga, a intezitet i obim njegove primene zavisiće od efekata koji se postavljaju kao cilj vežbanja.

U sportu, ali i u ostalim aktivnostima, sposobnost generisanja velikih sila za što kraće vreme predstavlja značajan faktor u postizanju sportskih rezultata, ali i prevenciji povreda (Neeter i sar., 2006). Jedan od osnovnih zadataka treninga je da primenom opterećenja, jača mišićne performanse sportista i na taj način preventivno deluje na povređivanje. Zadaci visokog inteziteta koje realizuju mišići čoveka zahtevaju potreban nivo sposobnosti datog mišića. Disbalansi u jačini mišića agonista i antagonista u pojedinim zglobovima tela dovešće do povređivanja slabijeg mišića. Najčešće narušen odnos u jačini agonista i antagonista je između mišića fleksora i ekstenzora u zglobu kolena. Jačanje pojedinih mišića i mišićnih grupa, primenom opterećenja, potrebno je i u smislu prevencije posturalnih deformiteta tela kod mlađih uzrasta.

Sve veći zahtevi, koji se postavljaju pred sportiste, sa ciljem postizanja vrhunskih rezultata dovode do pojave iscrpljenosti, pretreniranosti, a ne retko i do povređivanja. Izloženost sistema za kretanje velikim spoljašnjim i unutrašnjim silama tokom sportskih aktivnosti, jedan je od uzroka nastajanja povreda.

Nakon dijagnostifikovanja povrede pristupa se rehabilitacionom postupku. Iako brojni specifični aspekti rehabilitacionih protokola još uvek nisu precizno definisani, uopšteno je prihvaćen značaj intenzivne rehabilitacije za oporavak mišićne jačine, zglobne pokretljivosti i neuromišićne kontrole, kao preduslov za što raniji povratak sportu i profesionalnim aktivnostima (Myer i sar., 2006). S ozbirom na to da je jačanje mišića, koji vrše pokret u zglobu, bitan faktor procesa rehabilitacije, primena opterećenja i to progresivnog opterećenja opšte je prihvaćeno. Ovakav vid terapije koristi se u predoperativnim i postoperativnim situacijama, kod hroničnih ortopedskih slučajeva, bolesti srca, nepravilnog držanja, neuroloških slučajeva i dr.

1.2. KLASIFIKACIJA OPTEREĆENJA

Primena opterećenja u treningu, prevenciji i rehabilitaciji je široko prihvaćena i zbog toga zahteva preciznost u korišćenju i poznavanje osnovnih mehanizama upotrebe različitih oblika opterećenja. Kao što je već rečeno, čovek se suprostavlja težini i inerciji sopstvenog tela i objekata sa kojima dolazi u kontakt, pa prema tome najopštija podela opterećenja može se definisati kao opterećenje sopstvenog tela i spoljašnje opterećenje.

Opterećenje sopstvenog tela se često koristi u fizičkom vežbanju. Međutim, težini svog tela čovek se suprostavlja i u svakodnevnim životnim aktivnostima (hodanje, trčanje, skakanje i dr). Prilikom vežbanja u toku koga se savladava težina sopstvenog tela, oslonac može biti ili proksimalan ili distalan u odnosu na centar mase. Proksimalan oslonac predstavlja takav vid aktivnosti u kome se vežbač oslanja bližim delovima tela u odnosu na centar mase, dok su kretanja u kojima je vežbač oslonjen udaljenijim delovima tela aktivnosti sa distalnim osloncem. U situacijama kada se pokret izvodi sa distalnim osloncem gubitak u sili, karakterističan za mišićni sistem tela, nije toliko veliki kao kada se vrše pokreti a oslonac je proksimalan. Intezitet opterećenja, prilikom vežbanja u kojima se savladava težina sopstvenog tela, može se menjati. Podizanje celog tela ili pojedinih segmenata, može biti jedan od oblika doziranja opterećenja. Promene u intezitetu vežbanja, savladavanjem otpora sopstvene težine, moguće je postići i menjanjem kraka sile prilikom izvođenja određenih pokreta. Primena vežbanja

sa opterećenjem koje potiče od težine tela vežbača u praksi je velika, pre svega zbog jednostavnosti u realizaciji samog vežbanja.

Spoljašnje opterećenje u fizičkom vežbanju predstavlja izvođenje pokreta gde se kao otpor koristi: težina predmeta, otpor partnera, otpor elastičnih predmeta, otpor spoljašnje sredine (na primer, trčanje po mekoj podlozi, vežbanje u vodi i dr). Takođe, pored spomenutih moguće je izdvojiti i tzv. vežbe sa samootporom. Ove vežbe su karakteristične po istovremenom naprezanju jednih i suprostavljanju drugih mišićnih grupa (najčešće antagonista).

Polazeći od činjenice da je, sa aspekta razvoja sposobnosti mišića (posebno u sportu), često potrebno opterećenje koje prevazilazi intenzitet opterećenja sopstvenog tela i da postoje različiti oblici spoljašnjeg opterećenja, nameće se potreba za istraživanjem osnovnih biomehaničkih determinanti povezanih sa određenim tipom opterećenja i primenjenom mišićnom aktivnosti. Na ovaj način će treneri, istraživači, klinički radnici i svi oni koji se bave vežbanjem sa opterećenjem, preciznije koristiti sva ograničenja i benefite pojedinih tipova opterećenja i, u skladu sa tim, primenjivati ih u praksi.

1.2.1. Vrste opterećenja

U dosadašnjim teorijskim postavkama bilo je dosta pokušaja da se sistematizuju i klasifikacije opterećenja kao sredstva za razvoj određenih sposobnosti. Jedan od najčešće korišćenih principa u podeli opterećenja baziran je na kriterijumu prema kome, u toku pokreta, jedna od karakteristika ostaje nepromenjena, tako da se razlikuju:

- Izometrijska,
- Izotonična/izoinercijalna i
- Izokinetička opterećenja.

Prefiks *izo*, što na latinskom znači - isto, u izometrijskom opterećenju znači da u toku mišićne kontrakcije ne dolazi do promene dužine aktivnog mišića. Dakle, mišić se izometrijskom kontrakcijom suprostavlja spoljašnjem opterećenju. Izotonično ili

izoinercijalno opterećenje podrazumeva takav tip aktivnosti u kome je intezitet sopoljašnjeg otpora definisan samo u početnoj fazi pokreta. Rad protiv ovakvog oblika spoljašnjeg opterećenja karakterističan je za vežbanje sa tegovima, gde u zavisnosti od faze izvođenja pokreta varira i intezitet opterećenja. Najveći intezitet dostiže se u početnoj fazi kada teg treba pokrenuti a zatim u položaju kada je krak sile najveći. Izokinetičko opterećenje predstavlja takvu vrstu aktivnosti gde je intezitet opterećenja konstantan tokom cele amplitude pokreta.

Predhodno navedena sistematizacija opterećenja, iako zasnovana na logičnim kriterijumima, ima niz metodoloških nedostataka. Mane ovakve podele spoljašnjeg opterećenja postale su uočljive razvojem savremene tehnologije i pojavom sofisticiranih trenažera koji omogućuju kombinovanje različitih vrsta opterećenja, kao i primenu elastičnih, pneumatskih i hidrauličnih otpora. Sveobuhvatnu podelu opterećenja u fizičkom vežbanju izvršili su Frost i saradnici (2010) prema kojoj se razlikuju konstantna opterećenja, opterećenja sa mogućnošću prilagođavanja i varijabilna opterećenja.

U konstatnim opterećenjima (izoinercijalni trening), celokupna sila otpora prilikom podizanja tereta zavisi od mase samog tega. Ovakav oblik vežbanja, odnosno primene opterećenja, najrasprostranjeniji je u treningu za razvoj sile i snage u sportu. U zavisnosti od tipa mišićne kontrakcije, a protiv konstantnog opterećenja, razlikuju se pokreti u kojima se izvodi samo koncentrična kontrakcija, samo ekscentrična kontrakcija, naizmenično koncentrična ekscentrična kontrakcija, pokreti u kojima se realizuje povratni režim rada mišića i balistički pokreti. U zavisnosti od prirode pokreta zavisice i kinematički i kinetički parametri kretanja.

Opterećenja sa mogućnošću prilagođavanja mogu biti izokinetička i hidraulična. U delovanju protiv ovakve vrste opterećenja intezitet rada isti je tokom čitave amplitude pokreta. Takođe, vežbanjem primenom opterećenja sa mogućnošću prilagođavanja moguće je izvoditi pokret pri različitim konstantnim brzinama u nepromenjenom intezitetu opterećenja. U ovim vežbama neutrališe se inerciona komponenta koja je inače prisutna u izoinercijalnom treningu. Osnovna karakteristika opterećenja u ovakvim vežbama je konstantna brzina, što znači da ubrzanje ne postoji, nezavisno od mase tega.

Treću grupu predstavljaju varijabilna opterećenja. Pod varijabilnim opterećenjima podrazumevaju se otpori čiji se intezitet povećava ili smanjuje sa amplitudom pokreta. Najčešće korišćena sredstava, kojima se postiže variranje u intezitetu optereća, su ekspanderi sa oprugom, elastične trake/gume i pneumatska opterećenja. Primena elastičnih opterećenja, obezbeđuje povećanje inteziteta rada sa povećanjem amplitude pokreta. Pošto je (prema zakonu Hooke-a) veličina napregnutosti elastičnih tela, koja se deformišu, srazmerna relativnoj veličini deformacije (koeficijent elastičnosti), treba izabrati nešto dužu i elastičniju traku kako bi intezitet bio relativno konstantan tokom celog pokreta, ili nešto kraću i manje elastičnu traku kako bi se intezitet rada značajno povećavao sa amplitudom pokreta.

Uzimajući u obzir činjenicu da su izotonična opterećenja (izoinercijalni trening) najviše zastupljena u testiranjima i treningu, kao i to da intezitet otpora direktno zavisi od mase tega, dakle opterećenja u kojima imamo i inercionu i gravitacionu komponentu, potrebno je ispitati da li postoji i kako se manifestuje uticaj svake od komponenti opterećenja na kinematičke i kinetičke parametre pokreta.

1.2.2. Komponente opterećenja

Ako posmatramo kretanje čoveka i opterećenje koje potiče od sopstvene težine tela, svakodnevne aktivnosti, na određen način, možemo svrstati u izoinercijalni trening. Ako na samo kretanje dodamo i delovanje spoljašnjih sila u vidu težine predmeta sa kojima čovek dolazi u neposredan kontakt, evidentno je da, u ovakvim situacijama, mišićni sistem deluje protiv gravitacione i inercione komponente tela i predmeta kojima se koristi. Takođe u sportu, u treningu snage koji se uglavnom sprovodi pomoću opterećenja, najčešće u obliku tegova, gravitaciona i inerciona komponenta predstavljaju osnovne oblike otpora.

Smer delovanja gravitacione komponente uvek je vertikalna, dok smer delovanja inercione komponente zavisi od smera ubrzanja tela u trodimenzionalnom sistemu. Ako posmatramo silu reakcije podloge, u toku nekog kretanja, ona predstavlja rezultantu njene horizontalne i vertikalne komponente. Međutim, ukoliko se pokret odvija u

vertikalnom pravcu, sila reakcije podloge imaće samo vertikalnu komponentu, prema tome smer delovanja inercione komponente biće takođe vertikalan. Dakle, gravitaciona i inerciona komponenta opterećenja kolinearne su samo kada telo (sa eventualno spoljašnjim opterećenjem) ubrzava u vertikalnom pravcu. Ovakav odnos komponenti opterećenja može se sresti kod skokova uvis, čučnjeva, potisaka sa grudi, izbačaja sa grudi i dr.

Kao posledica kolinearnosti komponenti opterećenja, skalarna jednačina vertikalne komponente sile reakcije podloge (GRF), proizvedena tokom vremena (t) biće: $GRF(t) = m [g + a(t)]$, gde je m masa tela, g gravitaciono ubrzanje, $a(t)$ ubrzanje tela u vertikalnom pravcu na gore. Iz ove skalarnе jednačine može se dalje zaključiti da je proizvod mase (m) i gravitacionog ubrzanja (g) jednak težini tela ($W=m \cdot g$) koja je konstantna, dok je proizvod mase tela (m) i ubrzanja tela u vremenu ($a(t)$) jednak inerciji tela [$I(t)=m \cdot a(t)$]. Inercija tela se menja u vremenu u zavisnosti od ubrzanja. Ista jednačina može biti primenjena kod izvođenja pojedinačnih pokreta tela kada spoljašnje sile deluju vertikalno.

Iz predhodno izvedenih jednačina jasno se može zaključiti da su pokreti koji se odvijaju u vertikalnom pravcu uglavnom opterećeni gravitacionom komponentom, dok su kretanja kao što su hodanje i trčanje (posebno sprint) najviše opterećeni inercionom komponentom.

1.3. MOGUĆNOST IZOLOVANJA KOMPONENTI OPTEREĆENJA

Inerciona i gravitaciona komponenta opterećenja povećavaju se proporcionalno sa povećanjem mase tela, odnosno delovanjem neke spoljašnje sile. Nije poznato, kada su ove dve komponente opterećenja u pitanju, kakav je njihov selektivni uticaj na kinematičke i kinetičke parametre pokreta. Da bi ovaj problem mogao biti ispitan mora se zadovoljiti uslov kolinearnosti komponenti opterećenja, dakle pokret mora biti izvršen isključivo u vertikalnom pravcu. Pored toga, izabrani pokret mora biti izveden tako da ne postoji mogućnost prilagođavanja, odnosno sa što manjim brojem stepeni slobode, jer na taj način se smanjuje inerciono dejstvo segmenata tela u horizontalnom pravcu.



Slika 1. Šematski prikaz mogućnosti izolovanja komponenti opterećenja: gravitaciona komponenta (konstantno opterećenje na dole), gravitaciona + inerciona komponenta (prsluk-tegovi), inerciona komponenta (istovremena primena tegova i konstantnog rasterećenja).

Simulaciju dodatnog gravitacionog opterećenja moguće je izvršiti delovanjem konstantne spoljne sile u vertikalnom pravcu (Galantis i Woledge, 2003; Gosseye i sar., 2010; Griffin i sar., 1999). U tom cilju primenjeno elastično opterećenje (gume) mora biti dovoljno dugo i dovoljno elastično kako bi obezbedilo relativno konstantnu silu tokom pokreta. Istovremeno delovanje i inercionog i gravitacionog opterećenja dobija se jednostavnim dodavanjem tegova, u tom slučaju imamo i inerciju i gravitaciju. Povećanje isključivo inercionog opterećenja obezbeđuje se neutralisanjem gravitacione komponente spoljašnjeg opterećenja (tegova). Dakle, konstantnom spoljnom silom, koja

ima suprotan smer od smera delovanja gravitacione komponente tega, će omogućiti delovanje samo inercione komponente opterećenja.

Pod uslovom vertikalne kolinearnosti inercione i gravitacione komponente opterećenja, skalarna jednačina drugog Njutnovog zakona, u cilju izolovanog delovanja komponenti opterećenja, može se izvesti na sledeći način:

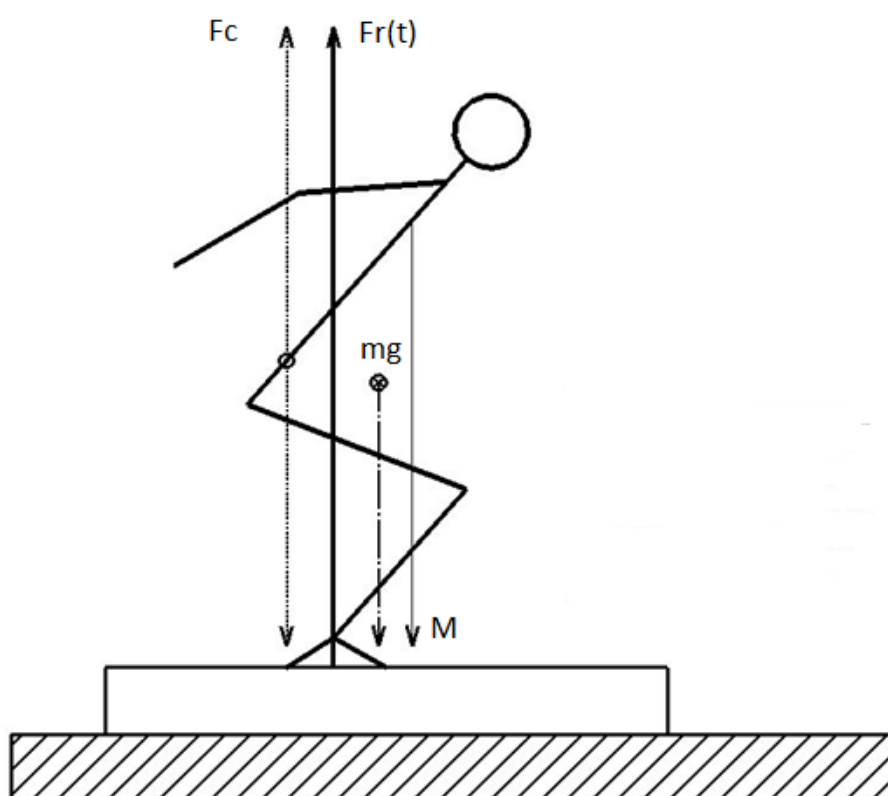
$$Fr(t) = m * a(t) \quad \Longrightarrow \quad Fr(t) - T \pm Fc = m * a(t),$$

gde T predstavlja težinu tega koji se dodaje u cilju povećanja i inercione i gravitacione komponente; Fc primenjeno pozitivno ili negativno opterećenje konstantnom silom kako bi se manipuliralo gravitacionom komponentom; $Fr(t)$ vertikalnu komponentu sile reakcije podloge u vremenu; m masu tela, $a(t)$ ubrzanje tela u vremenu. Ukoliko ispitanik vrši pokret sa inercionom i gravitacionom komponentom sopstvenog tela i dodatnim opterećenjem jedne ili obeju komponenti, u intezitetu 10, 20, 30 i 40% od mase sopstvenog tela, takve varijacije mogu se predstaviti pomoću formule:

$$Fr(t) - (mt+k*mt) \pm n*m*g = (mt+k*mt) * a(t)$$

k i n koeficijent predstavljaju intezitet delovanja spoljnih sila, k težinu tegova, a n silu delovanja elastičnih guma. U zavisnosti od promene inteziteta komponenti opterećenja, čiji je opseg od 0 (bez dodatnog opterećenja) do 40% od mase tela, k i n koeficijenti biće jednaki 0 (bez opterećenja), 0.1 (10% od mase tela), 0.2 (20% od mase tela), 0.3 (30% od mase tela) i 0.4 (40% od mase tela). Na osnovu ovakve teorijske postavke moguće je izvršiti pokret u četiri nezavisna uslova:

- „Nulto opterećenje“: $k = 0, n = 0$;
- „Gravitaciono opterećenje“: $k = 0, n \neq 0, - Fc$;
- „Gravitaciono + inerciono opterećenje“: $k \neq 0, n = 0$;
- „Inerciono opterećenje“: $k \neq 0, n \neq 0, + Fc$.



Slika 2. Šematski prikaz istovremene i selektivne primene inercione i gravitacione komponente opterećenja: $F_r(t)$ – vertikalna sila reakcije podloge; F_c – konstatna elastična sila guma; mg – težina tela; M – masa tega.

1.4. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

U dosadašnjim istraživanjima, selektivan uticaj komponenti opterećenja na balističke pokrete, nije posmatran kao nezavisan problem. Pojedine studije su na indirektan način procenjivale uticaj gravitacione komponente opterećenja na performanse pokreta, primenom konstantne elastične sile (Markovic i Jaric, 2007; Nuzzo i sar., 2010; Marković i sar., 2011; Vuk i sar., 2011). U najvećem broju istraživanja, primenom tegova kao vrste opterećenja, posmatran je uticaj gravitacione i inercione komponente istovremeno. Međutim, na ovaj način nije moguće identifikovati i uporediti selektivni uticaj inercione i gravitacione komponente opterećenja, u odnosu na njihovu istovremenu primenu.

Opšte je poznato da promena spoljašnjeg opterećenja ima uticaj na kinetičke i kinematičke šeme pokreta, maksimalni dinamički izlaz (snagu i količinu kretanja), kao i na opštu efikasnost mišićnog sistema (Cormie i sar., 2011a, b, Frost i sar., 2010). Veliki broj istraživanja o primeni opterećenja u treningu snage usmerena su na optimalizaciju opterećenja u pogledu minimalne energetske potrošnje (Teunissen i sar., 2007) i maksimalizacije dinamičkog izlaza (Bevan i sar., 2010; Cormie i sar., 2007c; Lund i sar., 2004; Markovic i Jaric, 2007; Nuzzo i sar., 2010). S obzirom na vrste opterećenja, najčešće primenjivano opterećenje u treningu, rehabilitaciji i procedurama testiranja jeste izoinercijalno opterećenje, odnosno korišćenje tegova kao spoljašnjeg otpora, bilo direktno ili preko posebno konstruisanih sistema (Anderson i sar., 2008; Cavagna i sar., 1972; Chang i sar., 2000; Cormie i sar., 2007b; De Witt i sar., 2008; McBride i sar., 1999; Wallace i sar., 2006; Wilson i sar., 1993).

Od ostalih vrsta opterećenja, varijabilno opterećenje, odnosno elastična vrsta spoljašnjeg otpora ima sve značajniju primenu u savremenoj trenažnoj tehnologiji. Istraživanja Wallace i saradnika (2006) i Israela i saradnika (2010) pokazala su da primena elastičnog opterećenja, u odnosu na tegove, povećava maksimalni dinamički izlaz. Takođe, rezultati pojedinih studija pokazuju da je trening sa elastičnim opterećenjem efikasniji od treninga sa tegovima u cilju razvoja jačine mišića ruku i mišića nogu (Anderson i sar., 2008). Razlike u efikasnosti izvođenja, maksimalnog skoka uvis, najznačajnije su u fazi prelaska iz ekscentrične u koncentričnu fazu rada mišića. Međutim, nije poznato koja svojstva elastičnosti su primenjivana opterećenja imala, odnosno, nije poznato da li mogu simulirati gravitacionu komponentu opterećenja.

Uticaj komponenti opterećenja (inercija i gravitacija) testiran je na kretanjima koja se odvijaju uglavnom u horizontalno pravcu (hodanja, trčanja i dr). Nalazi istraživanja koja su ispitivala uticaj gravitacione komponente opterećenja na kinetički i kinematički obrazac hodanja i trčanja prilično su neubedljivi, odnosno nisu pokazali značajne razlike (Chang i sar., 2000; De Witt i sar., 2008; Teunissen i sar., 2007). Izolovani uticaj inercione komponente opterećenja testiran je samo u istraživanjima motorne kontrole i to na jednozglobnim pokretima u horizontalnoj ravni (Corcos i sar., 1993; Jaric, 2000). Dakle, potrebno je bilo kompezovati težinu opterećenja kako bi

ostala samo inercija. Nalazi ovih studija pokazuju da inerciona komponenta opterećenja utiče na produženje koncentrične faze aktivnosti mišića agonista.

1.4.1. Rezultati efekata komponenti opterećenja na kretanje

U daljem tekstu biće predstavljeni rezultati eksperimenata koji na indirektan način mogu uticati na razumevanje problema ovog istraživanja. Kao što je predhodno rečeno, istraživanja selektivnih uticaja komponenti opterećenja na balističke pokrete nije bilo, ali određen broj studija sličan problem tretirao je na pokretima koji se odvijaju u horizontalnom pravcu.

Chang i saradnici (2000) su ispitivali uticaj povećanja gravitacione i inercione komponente opterećenja, povećanja samo inercione i smanjenja gravitacione komponente opterećenja na parametre trčanja. U eksperimentu je učestvovalo 8 ispitanika kojima je merena sila reakcije podloge u tri eksperimentalna uslova: 110, 120 i 130% od normalane težine i mase tela; 110, 120 i 130% od normalne mase tela; i 25, 50 i 75% od normalne težine tela, pri trčanju od 3 m/s. Za potrebe ovog eksperimenta konstruisan je poseban sistem za rasterećenje, koji konstantnom spoljnom silom na gore neutrališe gravitacionu komponentu opterećenja. Rezultati ove studije pokazuju da se maksimalna vertikalna sila reakcije podloge menja sa težinom ali se ne menja sa promenom mase tela. Horizontalni impuls kretanja se menja više sa promenom težine tela nego sa promenom mase tela. Dakle, gravitacija u odnosu na inerciju vrši veći uticaj na silu reakcije podloge tokom trčanja.

De Witt i saradnici (2008) ispitivali su uticaj povećanja inercione komponente opterećenja na vertikalnu silu reakcije podloge, trajanje koraka i kontakta sa podlogom u hodanju (1.34 m/s) i trčanju (3.13 m/s). U eksperimentu je učestvovalo 10 ispitanika koji su na posebno konstruisanom uređaju za rasterećenje hodali i trčali u 4 eksperimentalna uslova: 0, 10, 20, 30 i 40 % povećanja inercione komponente opterećenja. Inercija tela povećavala se dodavanjem tegova preko prsluka koji su ispitanici nosili, dok se za isti procenat oduzimala gravitaciona komponenta dodatih tegova pomoću elastičnog rasterećenja. Rezultati ovog istraživanja pokazuju da je

povećanje inercione komponente različito uticalo na praćene parametre hodanja i trčanja. Maksimalna vertikalna sila reakcije podloge, povećavala se kod hodanja sa povećanjem inercije, a opadala kod trčanja. Sa porastom inercione komponente opterećenja trajanje koraka se povećalo i kod hodanja i kod trčanja, dok se trajanje kontakta sa podlogom povećalo samo kod trčanja.

Selektivne i istovremene uticaje inercione i gravitacione komponente opterećenja na metabolički utrošak u trčanju ispitivali su Teunissen i saradnici (2007). U ovom eksperimentu 10 ispitanika trčalo je pri brzini od 3 m/s u tri eksperimentalna uslova: 110, 120 i 130% od normalane težine i mase tela; 110, 120 i 130% od normalne mase tela dok je težina tela bila 100%; i 25, 50 i 75% od normalne težine tela dok je masa tela bila 100%. Rezultati ove studije pokazuju da se ukupan metabolički utrošak neproporcionalno smanjuje sa smanjenjem gravitacione komponente, neproporcionalno povećava sa istovremenim povećanjem obe komponente, a metabolički utrošak se ne menja sa povećanjem samo inercione komponente. Zaključak ovog istraživanje je da generisanje sile koja je potrebna da se suprostavimo telesnoj težini predstavlja osnovnu determinantu metaboličkog utroška prilikom trčanja.

Od pokreta koji se odvijaju u vertikalnom pravcu, maksimalni skok uvis (SV) i maksimalni skok uvis iz polučučnja ($SV_{pč}$) su najčešće zadaci u istraživanjima primene spoljašnjeg opterećenja. Ako uzmemo u obzir potrebnu kolinearnost komponenti opterećenja, u cilju istraživanja izolovanog delovanja gravitacije i inercije, možemo reći da ovi zadaci ispunjavaju neophodne uslove.

U cilju optimalizacije opterećenja za generisanje maksimalnog dinamičkog izlaza pojedina istraživanja bavila su se, između ostalog, uticajem promene gravitacionog opterećenja na performanse skoka. Istraživanje Markovića i Jarića (2007) imalo je za cilj ispitivanje uticaja spoljašnjeg opterećenja i rasterećenja na dinamički izlaz maksimalnog skoka uvis. Primenjeno spoljašnje, pozitivno i negativno, opterećenje proizvedeno primenom elastičnih guma sa velikim koeficijentom elastičnosti, tako da možemo reći da je sila bila relativno konstantna i prema tome simulirala povećanje ili smanjenje težine tela (gravitacione komponente). U ovom eksperimentu 15 ispitanika je izvodilo maksimalni vertikalni skok, na platformi sile, u uslovima bez opterećenja (100%G), pojačane gravitacione komponente opterećenja za 30% od ukupne težine tela (130%G) i smanjene gravitacione komponente opterećenja

za 30% od ukupne težine tela. Praćeni su kinematički parametri izvođenja (maksimalna brzina centra mase tokom koncentrične faze, relativno spuštanje centra mase tokom ekscentrične faze, trajanje koncentrične faze skoka) i maksimalni dinamički izlaz (srednja i maksimalna snaga u koncentričnoj fazi skoka i maksimalna količina kretanja). Rezultati ove studije pokazuju da težina sopstvenog tela predstavlja optimalno opterećenje za generisanje maksimalnog mehaničkog izlaza u vertikalnim skokovima. Na osnovu rezultata ove studije, i drugih teorijskih pretpostavki, Jarić i Marković (2009) postavljaju hipotezu maksimalnog dinamičkog izlaza prema kojoj su mišići nogu, kod fizički aktivnih osoba, uglavnom tako dizajnirani da proizvode maksimalni dinamički izlaz u brzim pokretima kao što su skokovi ili sprint, delujući protiv opterećenja koje je jednako težini i inerciji sopstvenog tela. Ova hipoteza potvrđena je istraživanjem kojim se isti problem, na približno isti način, testirao na ispitanicima različitog nivoa jačine (Nuzzo i sar., 2010). Takođe, problem uticaja promene gravitacione komponente opterećenja testiran je na ispitanicima različitog nivoa utreniranosti (Vuk i sar., 2011). Po istom metodološkom principu u tri različita uslova opterećenje (100%G, 130%G, 70%G) testirani su sportisti trenirani po tipu jačine, sportisti trenirani po tipu brzine i osobe koje se ne bave fizičkim vežbanjem. Dobijeni rezultati ovim istraživanjem sugerišu da, sa evolutivne tačke gledišta, mišićni sistem nogu može biti tako dizajniran da generiše maksimalni dinamički izlaz protiv opterećenja koja su znatno ispod težine i inercije sopstvenog tela.

Problem uticaja treninga sa smanjenom i pojačanom gravitacionom komponentom opterećenja na performanse skoka ispitivali su Marković i saradnici (2011). U ovom istraživanju pored kontrolne grupe (100%G), sedmonedeljni ciklus treninga sprovodile su grupa koja je vežbala sa smanjenom gravitacionom komponentom (70%G) i grupa sa povećanom gravitacionom komponentom opterećenja (130%G). Nakon sedam nedelja treninga, obe grupe povećale su i maksimalnu visinu skoka i maksimalnu brzinu kao i spuštanje u ekscentričnoj fazi skoka. Međutim, grupa koja je trenirala sa smanjenom gravitacionom komponentom opterećenja (70%G) pokazala je značajno veći napredak u kinematičkim i kinetičkim parametrima skoka.

Dakle na osnovu predhodno iznetih rezultata istraživanja može se videti da postoji čitav niz nedoslednosti u dobijenim rezultatima studija koje su se bavile istim problemom. Istraživači najnovijih studija (Marković i sar., 2011; Vuk i sar., 2011)

pominju psihološki faktor kao ograničenje predhodnih nalaza, koji je uticao da ispitanici ne ispolje svoj maksimum u situacijama rasterećenja – odnosno smanjene gravitacione komponente (Marković i Jarić, 2007).

1.4.2. Nedostaci i ograničenja dosadašnjih istraživanja

Na osnovu predhodnih rezultata istraživanja, koji na indirektan način mogu biti povezani sa problemom uticaja komponenti opterećenja na balističke pokrete, može se reći da ne postoji metodološki potpuna studija koja može odgovoriti na ovo pitanje.

Studije koje su ispitivale ovaj problem u kretanjima koja se odvijaju u horizontalnom pravcu (Chang i sar., 2000; De Witt i sar., 2008; Teunissen i sar., 2007), na zadacima hodanja i trčanja, nisu zadovoljile kolinearnost komponenti opterećenja (inercije i gravitacije), dakle pokreti nisu realizovani u vertikalnom pravcu kako bi sila gravitacije i inercije bile uporedive. Takođe, u ovim studijama nedostaje povećanje inteziteta gravitacione komponente, tako da se ne mogu u potpunosti uporediti selektivni uticaji ovih komponenti na izvođenje zadataka.

U istraživanjima koja su se bavila zadacima koji zadovoljavaju kolinearnost sila gravitacije i inercije, nedostaje uslov izvođenja zadatka sa pojačanom inercionom komponentom opterećenja (Marković i Jarić, 2007; Jarić i Marković, 2009; Nuzzo i sar., 2010; Vuk i sar., 2011; Marković i sar., 2011). Pored toga, dobijeni nalazi ovih istraživanja ukazali su na metodološke nedostatke u primeni i konstrukciji sistema za opterećenje/rasterećenje. Jedan broj istraživanja koja su u cilju opterećenja ili rasterećenja koristila elastične trake, pokazala su metodološke nedostatke u smislu varijabilnosti opterećenja (Israetel i sar. 2010; Wallace i sar. 2006; Jakubiak i Saunders, 2008; Anderson i sar., 2008). Primenjene elastične trake nisu bile dovoljno duge ili dovoljno elastične da bi proizvodile konstantnu silu kojom bi se kontrolisala gravitaciona komponenta opterećenja.

Za procenu efekata različitih vrsta i komponenti opterećenja u procedurama testiranja, treninga kao i mišićnih adaptacija na kinematičke i kinetičke šeme obrazaca skokova uvis, u dosadašnjoj istraživačkoj aktivnosti primenjivano je nekoliko metoda

opterećenja (Argus i sar., 2011; Cavagna i sar., 1972; Markovic i Jaric, 2007; Nuzzo i sar., 2010). Primenjivane metode opterećenja razlikovale su se prema tipu primenjenog opterećenja, jedan broj metoda koristio je opterećenje elastičnih predmeta koje može simulirati promene u težini tela - gravitaciona komponenta (Cavagna i sar., 1972, Markovic i Jaric, 2007), a primena tegova je najčešći oblik primene spoljašnjeg opterećenja kojima se istovremeno povećava i inercija i gravitacija (Cormie i sar., 2007a, Cormie i sar., 2007c, Driss i sar., 2001, McBride i sar., 1999, Stone i sar., 2003). Metode opterećenja razlikovale su se i prema pozicioniranju otpora, kao što su šipka na ramenima (Cormie i sar., 2007c, McBride i sar., 1999, Nuzzo i sar., 2010, Stone i sar., 2003; Harris i sar., 2007), kaiš sa otporom ili prsluk koji opterećenje približava centru mase tela (Argus i sar., 2011, Cavagna i sar., 1972, Driss i sar., 2001, Markovic i Jaric, 2007, Markovic i sar., 2011). Pored toga, primena opterećenja putem tegova u odnosu na fiksirano opterećenje određenog trenažera, odnosno izvođenje pokreta sa mogućnošću prilagođavanja šeme motornog obrasca, može uticati na tumačenje dobijenih rezultata istraživanja (Teunissen i sar., 2007; Hay i sar., 1983; Kellis i sar., 2005). Međutim, nijedan metod za primenu opterećenja nije obezbedio uslove za istovremenu i izolovanu primenu komponenti opterećenja kako bi se sagledali njihovi uticaji na kinematičke i kinetičke šeme, samim tim i maksimalni dinamički izlaz balističkih pokreta.

Pored već pomenutih metodoloških problema, način izvođenja maksimalnog skoka uvis razlikovao se u istraživanjima koja su se bavila ovom problematikom. Maksimalni skok uvis i skok uvis iz polučučnja predstavljaju zadatke koji se po prirodi izvođenja razlikuju. Polazeći od te činjenice, dobijeni rezultati, u istraživanjima jednog problema na različitim zadacima, ne mogu se generalizovati. Takođe, u pojedinim istraživanjima maksimalni skok uvis izvođen je sa zamahom rukama a u drugim bez.

U cilju identifikacije selektivnih efekata inercione i gravitacione komponente opterećenja potrebno je metodom primene spoljašnjeg opterećenja obezbediti uslove za izolaciju ovih komponenti i standardizovati procedure merenja kako bi dobijeni rezultati celovito ukazivali na tumačenje ovog fundamentalnog problema.

2. PRELIMINARNO ISTRAŽIVANJE EFEKATA INERCIONOG I GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA MAKSIMALNI SKOK UVIS

Nakon pregleda i analize istraživanja koja su se bavila primenom opterećenja u treningu, rehabilitaciji, prevenciji dr., može se konstatovati da nije bilo studija koje su na adekvatan način ispitivale selektivan uticaj inercione i gravitacione komponente opterećenja (G, G+I, I) na kinematičke i kinetičke parametre balističkih pokreta. U istraživanjima koja su na indirektan način procenjivala efekat jedne od komponenti opterećenja, evidentiran je određen broj metodoloških nedostataka u mehaničkim karakteristikama sistema za primenu pozitivnog i negativnog opterećenja.

Mogućnost izolovanja komponenti opterećenja u zadacima koji se realizuju u vertikalnom pravcu, potvrđena je teorijskom postavkom izvedenom iz drugog Njutnovog zakona $F = m * a$. Vertikalna sila reakcije podloge jednaka je $GRF = m * [g + a(t)]$ tako da je proizvod mase tela (m) i gravitacionog ubrzanja (g) jednak težini tela, $W = m * g$, dok je proizvod mase tela (m) i njegovog ubrzanja u vertikalnom pravcu jednak inerciji tela u vremenu $I = m * a(t)$.

Predmet ovog istraživanja odnosio se na ispitavanje selektivnog uticaja komponenti opterećenja na balističke pokrete.

U cilju praktičnog testiranja postavljene metode za selektivnu primenu gravitacionog i inercionog opterećenja urađen je pilot eksperiment koji je imao nekoliko ciljeva:

- Ispitivanje efekata gravitacionog i inercionog opterećenja na kinematičke i kinetičke parametre maksimalnog skoka uvis sa zamahom rukama;
- Testiranje mehaničkih karakteristika sistema za izolovanu primenu komponenti opterećenja i
- Precizno definisanje protokola testiranja, s obzirom da je metoda nova.

Ovaj eksperiment trebalo je da pruži teorijsku osnovu za sledeća istraživanja koja bi u problematici primene spoljašnjeg opterećenja, pre svega u treningu, otvorila novo poglavlje u naučnim razmatranjima i doprinela praktičnim implikacijama u treningu (Leontijević i sar., 2011).

2.1. METODE ISTRAŽIVANJA

Ovim istraživanjem, na osnovu eksperimentalno prikupljenih podataka, izvršena je transverzalna analiza morfološkog statusa i dinamičkih svojstava mišića nogu ispitanika. Kao osnovni primenjen je empirijski metod, a kao pomoćni statistički metod.

Uzorak ispitanika

U eksperimentu je učestvovalo 5 studenata Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, (Uzrast 23.5 ± 2.4 godine; Masa tela 78.1 ± 7.5 kg; Visina tela 180.8 ± 7.4 cm i procenat masnog tkiva $13.8 \pm 4.7\%$). Svi ispitanici su bili fizički aktivni u okviru redovne nastave na akademskim studijama Fakulteta, koja je obuhvatala 6-8 časova nedeljno. Međutim, nijedan od ispitanika nije bio aktivni sportista i nije imao iskustva u treningu snage. Svi su bili zdravi i bez ikakvih hroničnih oboljenja, srčanih problema, kao i bez povreda lokomotornog aparata koje bi uticale na rezultate testiranja. Ispitanici su bili upoznati sa protokolom testiranja. Kompletni protokoli testiranja i mogući rizici od eventualnih povreda saopšteni su svakom ispitaniku.

Oprema za testiranje

Za određivanje procenta masnog tkiva kod ispitanika korišćena je bioelektrična impedanca (In body 720, USA).

Za potrebe istraživanja efekata inercionog i gravitacionog opterećenja na maksimalan skok uvis, konstruisan je sistem za selektivnu i istovremenu primenu inercione (I) i gravitacione komponente (G) opterećenja (Slika 3). Ovaj sistem služio je za simulaciju povećanja ili smanjenja telesne težine ispitanika. Sistem paralelnih guma, rastegnutih preko sedam prenosnih koturova, obezbeđivao je silu vuče koja odgovara 10 - 40 % od pojedinačnih telesnih težina ispitanika. Početna dužina guma iznosila je 6.5 metara, a prosečna dužina guma, potrebna da se obezbedi sila koja odgovara 40%

telesne težine, bila je 13.5 metara. Dakle, koeficijent elastičnosti guma bio je 42 N/m. Gume su pričvršćene za obe bočne strane pojasa, u visini struka ispitanika.

Prilikom spuštanja ispitanika, u ekscentričnoj fazi skoka, dužina guma se menjala približno 2 %, što odgovara promeni opterećenja od 0.5 - 2 % (Slika 3A). Takođe, uzimajući u obzir činjenicu da je masa guma bila skoro zanemariva, može se pretpostaviti da je opterećenje, tokom skokova, bilo relativno konstantno i, prema tome, simuliralo promene telesne težine, odnosno gravitacione komponente, ali ne i inercione. Ispitanici su takođe nosili i prsluk sa tegovima (MiP 60Lbs Pro; SAD; Slika 3B) koji je istovremeno povećavao i gravitacionu i inercionu komponentu opterećenja. Istovremena primena prsluka i negativnog konstantnog rasterećenja, u istom procentu, izolovala je inercionu komponentu opterećenja, dok je gravitaciona komponenta bila kompenzovana, odnosno nije se menjala (Slika 3C).

U realizovanom eksperimentu primenjena su sledeća tri tipa opterećenja: (a) Gravitaciono - primena samo guma koje vuku na dole simulira povećanje gravitacione komponente; (b) Gravitaciono + Inerciono - primena prsluka sa tegovima simulira povećanje i gravitacione i inercione komponente i (c) Inerciono – kovarijacija prsluka i guma koje kompenzuju gravitacionu komponentu vučenjem na gore, simulira povećanje isključivo inercione komponente.

Vertikalna komponenta sile reakcije podloge merena je tenziometrijskom platformom sile, sa koje su ispitanici vršili odskok (AMTI, BP600400; USA).

a) G komponentab) $G+I$ komponentav) I komponenta

Slika 3. Šematski prikaz primenjenih opterećenja. (A) Elastične gume vuku na dole relativno konstantnom silom, simulirajući povećanje gravitacione komponente (G), (B) prsluk sa tegovima simulira povećanje i gravitacione i inercione komponente opterećenja ($G+I$), dok (C) kombinacija prsluka i elastičnih guma koje vuku na gore, simulira povećanje inercione komponente (I).

Procedura testiranja

Eksperiment je realizovan u dva dana. U prvom danu izvršena su antropometrijska merenja i upoznavanje (familiarizacija) ispitanika sa protokolom testiranja. Upoznavanje je izvršeno uvežbavanjem tehnike skoka, pri različitim komponentama i intezitetima opterećenja. Drugog dana izvršena su merenja sile reakcije podloge u uslovima istovremenog ili izolovanog pojačanja inteziteta komponenti opterećenja. Između prvog i drugog dana ispitanici su imali tri dana pauze. U danima pauze ispitanicima je sugerisano da se ne bave fizičkim vežbanjem. Pre testiranja ispitanici su se zagrevali na sledeći način: 5 minuta vožnje na bicikl ergometru, 5 minuta vežbi oblikovanja i 5 minuta dinamičkog rastezanja.

Pri svakom uslovu opterećenja ispitanici su izvodili po tri skoka. Uzimajući u obzir činjenicu da je prvi skok uvek služio kao probni pokušaj, skok sa većom maksimalnom brzinom, od sledeća dva izvođenja, uziman je za dalju analizu. U toku dva dana testiranja ispitanici su izveli ukupno 78 maksimalnih skokova uvis sa

zamahom rukama (13 vrsti opterećenja x 3 skoka pri svakom opterećenju x 2 dana). Vrste opterećenja razlikovale su se prema komponenti i intezitetu opterećenja. Ispitanici su izvodili maksimalni skok uvis (SV) pri opterećenju od 10, 20, 30 i 40% od njihove:

- (a) telesne težine (G; 110%G, 120%G, 130%G i 140%G);
- (b) telesne težine i inercije (G+I; 110%G+I, 120%G+I, 130%G+I i 140%G+I) i
- (c) inercije (I; 110%I, 120%I, 130%I i 140%I).

Dakle, ispitanici su imali 13 uslova opterećenja, 110%, 120%, 130% i 140% od svakog tipa opterećenja (G, G+I, I), uključujući i skok bez spoljašnjeg opterećenja. Pauza između skokova bila je 15 sekundi, a između promene komponente opterećenja jedan minut. Platforma sile je služila za fina podešavanja sile vuče elastičnih guma, težine prsluka i kombinacije guma i prsluka.

Prikupljanje i obrada podataka

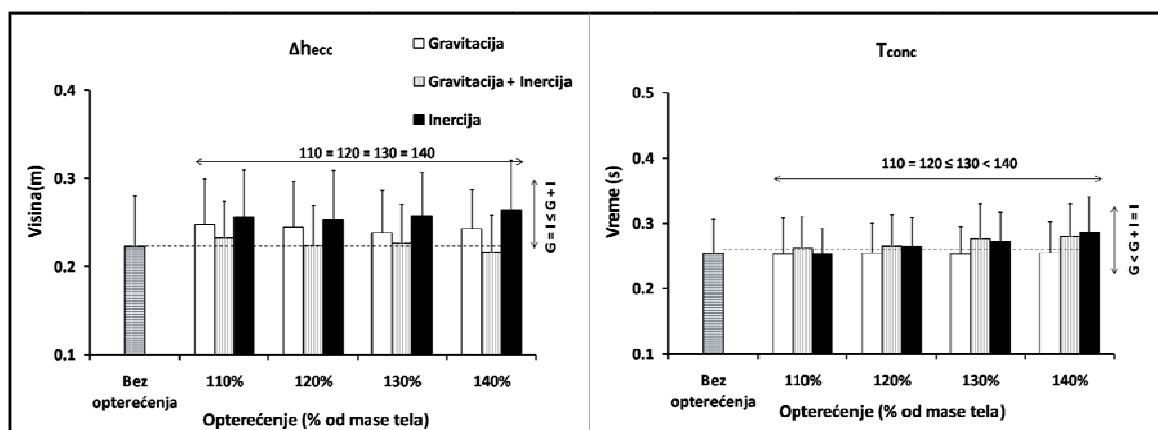
Platforma sile, kojom su snimani signali vertikalne komponente sile reakcije podloge, montirana je i kalibrirana prema specifikacijama proizvođača. Za potrebe ovog istraživanja u cilju prikupljanja i obrade dobijenih podataka korišćen je softver urađen u LabView programu (National Instruments, Version 8.2). Frekvencija snimanja bila je 1kHz. Brzina i položaj centra mase izračunati su metodom direktne dinamike na osnovu ubrzanja procenjenog iz zapisa vertikalne komponente sile reakcije podloge. Posmatrajući kinetičku i kinematičku šemu izvođenja zadatka (SV) praćene su sledeće varijable: Maksimalno spuštanje centra mase tokom ekscentrične faze skoka (Δh_{ecc}), Trajanje koncentrične faze skoka (T_{conc}), Sila reakcije podloge u momentu prelaska iz ekscentrične u koncentričnu fazu skoka (F_{trp}) i Maksimalna sila reakcije podloge tokom koncentrične faze (F_{peak}). Uzimajući u obzir činjenicu da sila elastičnih guma menja ubrzanje tela tokom faze leta, efikasnost skoka procenjivana je na osnovu maksimalne brzine tela tokom koncentrične faze skoka (V_{peak}), umesto na osnovu visine skoka (Marković i Jarić, 2007). Dinamički parametri skoka procenjivani su kroz Maksimalnu snagu (P_{peak}) i srednju snagu (P_{mean}) računatu od trenutka započinjanja koncentrične faze skoka. Maksimalna i srednja snaga dobijene su proizvodom brzine i sile reakcije podloge. Pouzdanost izračunavanih, mehaničkih varijabli, pokazala se kao veoma visoka u odnosu na veliki opseg primenjenih opterećenja (Marković i Jarić, 2007)

Statistička analiza

Deskriptivna statistika za sve praćene varijable izražena je kroz srednje vrednosti i standardnu devijaciju. Normalnost raspodele za sve zavisne varijable testirana je pomoću Kolmogorov-Smirnov testa. Pošto nije pokazano narušavanje normalnosti ($p > 0.16$), efekat tipa (G, G+I, I) i veličine (110%, 120%, 130% i 140%) primenjivanih spoljašnjih opterećenja na sve zavisne varijable testiran je pomoću dvofaktorske analize varijanse, ANOVA. Nakon utvrđivanja postojanja glavnog efekta, primenjen je Bonferroni post-hoc test. Prag značajnosti statističkih nalaza je bio na nivou $p = 0,05$. Svi statistički postupci su računati korišćenjem SPSS 16.0 softvera (SPSS Inc, Chicago, IL) i Office Excel 2003 (Microsoft Corporation, Redmond, WA)

2.2. REZULTATI I DISKUSIJA

Uticaj povećanja inteziteta jedne ili obeju komponenti opterećenja na kinetičke i kinematičke parametre testirane vrste skoka (SV) može se videti na slikama 4, 5 i 6. Rezultat dvofaktorske analize varijanse (ANOVA), gde su glavni efekti komponenta i intezitet primenjivanih opterećenja, prikazan je strelicama i znacima jednakosti ($<$, $>$, \leq , \geq , i $=$). Efekti komponenti i inteziteta opterećenja, na slikama upoređivani su sa skokovima bez opterećenja.

a) Spuštanja centra mase (Δh_{ecc})b) Trajanje koncentrične faze skoka (T_{conc})

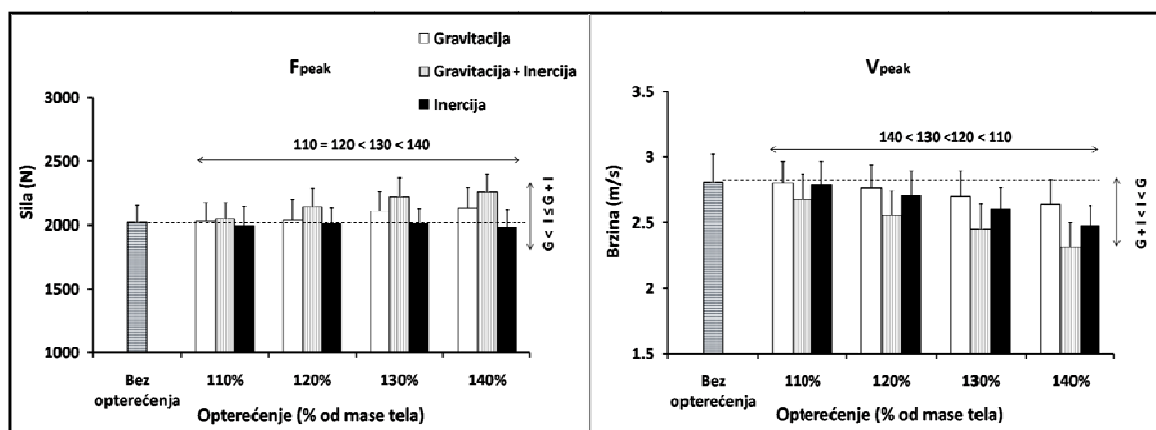
Slika 4. Kinematički parametri skoka uvis u zavisnosti od povećanja inteziteta pojedinih komponenti opterećenja (G, G+I, I).

Rezultati ovog istraživanja pokazuju da se težište tela, u ekscentričnoj fazi skoka, spuštalo više u situacijama kada je primenjivano gravitaciono (G) i inerciono (I) opterećenje, selektivno, u odnosu na njihovu istovremenu primenu (G+I). Dakle, razlike postoje ali one nisu statistički značajne (Slika 4). Rezultati pokazuju da efekat veličine (inteziteta) opterećenja ne postoji. Kada je u pitanju trajanje koncentrične faze skoka može se videti da se sa povećanjem veličine opterećenja produžava trajanje ove faze prilikom primene G+I i I, a nema promena sa povećanjem G komponente. Dakle, veličina opterećenja ne utiče na trajanje koncentrične faze skoka.

Promene maksimalne sile i maksimalne brzine pokreta u zavisnosti od komponente i inteziteta spoljašnjeg opterećenja mogu se videti na Slici 5. Maksimalna sila (F_{peak}), u koncentričnoj fazi skoka, raste sa povećanjem veličine opterećenja. Najveći porast maksimalne sile ostvaren je sa povećanjem veličine G+I opterećenja,

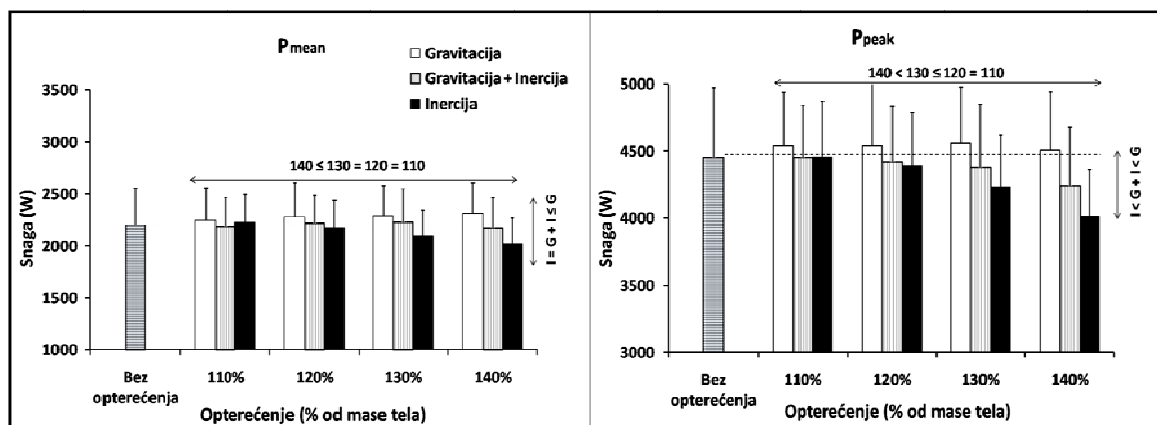
znatno manje sa povećanjem G opterećenja, dok povećanje I opterećenja nije dovelo do promena u razvoju maksimalne sile.

Kada je u pitanju maksimalna brzina (V_{peak}), rezultati pokazuju da se ona smanjuje sa povećanjem primenjivanih opterećenja. Međutim, povećanje G komponente opterećenja najmanje je uticalo na smanjenje maksimalne brzine. Povećanje G+I opterećenja dovelo je do najvećeg smanjenja maksimalne brzine.

a) Maksimalna sila (F_{peak})b) Maksimalna brzina (V_{peak})

Slika 5. Kinetički parametri maksimalnog vertikalnog skoka - Maksimalna sila (F_{peak}) i Maksimalna brzina (V_{peak}) u zavisnosti od inteziteta pojedinih komponenti opterećenja (G, G+I, I).

Maksimalni dinamički izlaz, analiziran kroz promene srednje i maksimalne snage, u zavisnosti od povećanja veličine primenjivanih komponenti opterećenja, pokazuje da postoji uticaj i komponenti ali i veličine opterećenja na razvoj maksimalne i srednje snage u koncentričnoj fazi skoka. Povećanje veličine I opterećenja najviše je uticalo na smanjenje srednje snage; povećanje G+I opterećenja nije uticalo na razvoj srednje snage; dok je, povećanje veličine W opterećenja uticalo na porast srednje snage prilikom izvođenja skoka. Razvoj maksimalne snage je najviše opadao sa povećanjem I komponente opterećenja, a nešto manje sa povećanjem G+I. Međutim, razvoj maksimalne snage prilikom povećanja G nije se menjao, čak su zabeležene veće vrednosti P_{peak} u odnosu na skokove bez dodatnog opterećenja (Slika 6).

a) Srednja snaga (P_{mean})b) Maksimalna snaga (P_{peak})

Slika 6. Dinamički parametri maksimalnog vertikalnog skoka - Srednja (P_{mean}) i Maksimalna snaga (P_{peak}) u zavisnosti od inteziteta pojedinih komponenti opterećenja (G , $G+I$, I).

2.3. ZAKLJUČCI PRELIMINARNIH ISTRAŽIVANJA

Glavni cilj ovog istraživanja bio je da se na zadatku maksimalnog skoka uvis ispituju efekti gravitacionog i inercionog opterećenja na performanse balističkih pokreta. Dobijeni rezultati ukazuju da postoji uticaj primene različitih komponenti opterećenja na performanse maksimalnog skoka uvis, kao i da povećanje gravitacione komponente opterećenja najmanje utiče na kinematičku šemu pokreta. Takođe, gravitaciona komponenta opterećenja najmanje redukuje performanse zadatka, što omogućuje generisanje većeg dinamičkog izlaza (snage).

Pored ispitivanja uticaja različitih komponenti opterećenja na kinetičke, kinematičke i dinamičke parametre maksimalnog vertikalnog skoka, jedan od ciljeva ovog istraživanja bila je i provera mehaničkih karakteristika konstruisanog sistema za selektivnu i istovremenu primenu različitih komponenti opterećenja. Takođe, istraživanje je imalo za cilj da testira celokupan protokol istraživanja, uzimajući u obzir činjenicu da je metoda nova. Na osnovu rezultata ali i povratnih informacija, iskustava, dobijenih tokom ovog istraživanja može se reći da je sistem u potpunosti omogućavao primenu različitih komponenti opterećenja (G, G+I, I), ukoliko zanemarimo relativno male promene sile vuče elastičnih guma prilikom ekscentrične, pa i koncentrične faze skoka (maksimalno 2%). Protokol testiranja, posmatrajući kroz upoznavanje ispitanika sa tehnikom izvođenja zadatka, broj izvedenih skokova, eventualnu pojavu zamora i celokupnu proceduru, omogućio je uslove da ispitanici budu dovoljno upoznati sa zadatkom, motivisani prilikom testiranja i odmorni prilikom izvođenja svakog pojedinačnog skoka (Leontijević i sar., 2011).

Dobijeni rezultati pokazuju naizgled male promene u kinematici i dinamici maksimalnog vertikalnog skoka. Ova konstatacija može se obrazložiti primenom relativno malih veličina opterećenja (10 - 40% od telesne mase) prilikom izvođenja zadatka. Naime, maksimalni skok uvis je zadatak koji se koristi u najvećem broju testova eksplozivne snage, a sa druge strane izolovanje komponenti opterećenja ograničava mogućnost primene opterećenja preko 40% od mase tela, koja prema pojedinim studijama značajno utiču na šemu skoka i kod mladih i starijih, fizički aktivnih pojedinaca (Marković i Jarić, 2007; Marković i sar., 2011). Uzimajući u obzir podatak da je na godišnjem testiranju jačina mišića ekstenzora nogu, studenata

fakulteta, procenjivana podizanjem maksimalne težine potiskom iz polučučnja (1RM), oko 120 kg, može se reći da je opseg primenjivanih opterećenja (10 – 40% TM) u ovom istraživanju približno 15 - 30% od maksimalne jačine ekstenzora nogu. Ovaj podatak može objasniti naizgled male efekte dobijene povećanjem inteziteta pojedinih komponenti opterećenja (Leontijević i sar., 2011).

Evidentirane promene u kinematičkoj i kinetičkoj šemi pokreta, uslovljene povećanjem inteziteta komponenti opterećenja, u skladu su sa rezultatima dobijenim u drugim studijama koje su se bavile uticajem opterećenja na performanse skokova uvis (Marković i Jarić, 2007), potiska sa grudi (Newton i sar., 1997), hodanja i trčanja (Chang i sar., 2000; De Witt i sar., 2008). Najvažniji nalaz ove studije, u odnosu na dosadašnja istraživanja, vezan je za kinematičke parametre i maksimalni dinamički izlaz skoka uvis, u zavisnosti od primene različitih komponenti opterećenja. Naime, rezultati pokazuju da najmanje negativne efekte na brzinu pokreta (V_{peak}) ima gravitaciona komponenta opterećenja (G), a najveće gravitaciona i inerciona zajedno (G+I). Prema tome, očekivano je da G komponenta najmanje utiče na smanjenje snage sa povećanjem veličine opterećenja. Dakle, možemo zaključiti da primena G+I opterećenja vodi ka povećanju sile reakcije podloge, pa i mišićne sile, dok primena G opterećenja u najvećoj meri održava kinematičku i kinetičku šemu pokreta, omogućavajući na taj način visok dinamički izlaz.

Slična metoda primene kovarijacije opterećenja, u cilju izolovanja inercione komponente, opisana je u nekoliko istraživanja (De Witt i sar., 2008; Teunissen i sar., 2007). Međutim, u okviru ovog istraživanja obezbeđena je mogućnost izolovane i kombinovane primene i gravitacionog i inercionog opterećenja, što nije bio slučaj u dosadašnjim istraživanjima. Takođe, pomenute studije istraživale su ovaj problem na zadacima koji se uglavnom realizuju u horizontalnom pravcu, kao što su hodanje i trčanje, gde povećanje inteziteta komponenti opterećenja izaziva relativno male promene u aktivaciji mišića, procenjivane na osnovu metaboličke potrošnje (Teunissen i sar., 2007).

Na osnovu postavljenih ciljeva i dobijenih rezultata, ovog istraživanja, mogu se postaviti okviri daljih istraživanja, vezanih za uticaj različitih komponenti i veličina opterećenja na balističke pokrete. Nalazi pokazuju da postoji uticaj komponenti i veličine opterećenja na maksimalni skok uvis, prema tome, treba ispitati taj uticaj na

ostale vrste skokova (iz polučučnja, sa i bez zamaha rukama, skok sa i bez mogućnosti prilagođavanja i dr). Takođe, pored skokova, efekti komponenti opterećenja (G i I) mogu se posmatrati i u ostalim zadacima u kojima se protiv spoljašnjeg opterećenja deluje u vertikalnom pravcu, zbog neophodne kolinearnosti inercione i gravitacione komponente opterećenja (na primer, izbačaj sa grudi iz ležećeg položaja na klupi).

3. PROBLEM, PREDMET, CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA

Problem istraživanja je fundamentalnog karaktera i formulisan je na osnovu metodoloških nedostataka istraživanja u kojima je ispitivan uticaj komponenti opterećenja na kinetičke i kinematičke parametre određenih zadataka. Istraživanja koja su se bavila uticajem komponenti opterećenja nisu pružila validne informacije o efektima inercione i gravitacione sile na kretanje čoveka. Ovaj problem, do sada, istraživan je na pokretima koji se realizuju u horizontalnoj ravni, međutim mogućnost upoređivanja gravitacione i inercione komponente opterećenja postoji samo u pokretima koji se odvijaju u vertikalnom pravcu. Prema tome, na osnovu dosadašnjih istraživanja, ne postoje informacije o efektima pojedinih komponenti opterećenja na kretanje čoveka.

Predmet istraživanja je ispitivanje efekata gravitacione i inercione komponente opterećenja na dinamička svojstva mišića ruku i nogu, odnosno, na koji način gravitaciona i inerciona komponenta utiču na ispoljavanje snage u zadacima maksimalnih skokova i izbačaja iz ležećeg položaja na klupi.

Cilj istraživanja je da se utvrdi da li postoje i kako se manifestuju, selektivni uticaji gravitacione i inercione komponente opterećenja na kinematičku šemu i dinamički izlaz balističkih pokreta koji se vrše u vertikalnom pravcu.

Zadaci istraživanja proizilaze iz problema, predmeta i cilja istraživanja i podrazumevaju:

- Istraživanje uticaja gravitacionog opterećenja na kinematičku šemu i dinamički izlaz u balističkim pokretima;
- Istraživanje uticaja inercionog opterećenja na kinematičku šemu i dinamički izlaz u balističkim pokretima i
- Procenu selektivnih uticaja pojedinih komponenti opterećenja na kinematičku šemu i dinamički izlaz balističkih pokreta.

Na osnovu cilja istraživanja i preliminarnih rezultata dobijenih u pilot studiji, organizovani su eksperimenti u kojima je izdvojen uticaj:

- inercione i gravitacione komponente opterećenja na performanse mišića nogu i
- inercione i gravitacione komponente opterećenja na performanse mišića ruku.

Ovim eksperimentima obuhvaćene su različite grupe mišića u funkciji vršenja balističkih pokreta. Na taj način omogućeno je upoređivanje uticaja različitih komponenti opterećenja, odnosno, dokazivanje uticaja gravitacione i inercione komponente opterećenja na kinematičku šemu i dinamički izlaz balističkih pokreta.

3.1. ISTRAŽIVANJE EFEKATA INERCIONOG I GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA DINAMIČKA SVOJSTVA MIŠIĆA NOGU

U ovom eksperimentu istraživana je selektivni uticaj inercione i gravitacione komponente opterećenja na kinematičke šeme i dinamički izlaz pokreta koji realizuju mišići nogu. Kinematičke šeme i dinamički izlazi praćeni su u uslovima vršenja maksimalnog skoka uvis. Uzimajući u obzir činjenicu da se razlikuju tehnike maksimalnog vertikalnog skoka, u ovom eksperimentu pomenuti problem istraživana je na dva zadatka, odnosno dve tehnike maksimalnog skoka uvis – sa zamahom rukama i iz polučučnja bez zamaha rukama.

Ciljevi istraživanja:

1. Ispitati selektivni uticaj inercionog i gravitacionog opterećenja na kinematičku šemu i dinamički izlaz maksimalnog skoka uvis sa zamahom rukama (SV);
2. Ispitati selektivni uticaj inercionog i gravitacionog opterećenja na kinematičku šemu i dinamički izlaz maksimalnog skoka uvis iz polučučnja ($SV_{pč}$);
3. Uporediti selektivni uticaj inercionog i gravitacionog opterećenja na kinematičku šemu i dinamički izlaz, pokreta sa različitim brojem stepeni slobode ($SV - SV_{pč}$).

3.2. ISTRAŽIVANJE EFEKATA INERCIONOG I GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA DINAMIČKA SVOJSTVA MIŠIĆA RUKU

U ovom eksperimentu istraživana je selektivni uticaj inercionog i gravitacionog opterećenja na kinematičku šemu i dinamički izlaz pokreta koji realizuju mišići ruku. Kinematičke šeme i dinamički izlazi praćeni su u uslovima vršenja izbačaja maksimalnom brzinom iz ležećeg položaja na klupi (eng., bench press throw).

Cilj istraživanja je da se utvrdi da li postoje i kako se manifestuju selektivni uticaji inercionog i gravitacionog opterećenja na kinematičku šemu i dinamički izlaz maksimalnog izbačaja iz ležećeg položaja na klupi (I_{pk}).

4. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Na osnovu detaljne analize relevantnih istraživanja i dobijenih rezultata pilot istraživanjem, za realizovane eksperimente postavljene su hipoteze istraživanja.

Istraživanje uticaja inercionog i gravitacionog opterećenja na dinamička svojstva mišića nogu (Eksperiment 1)

Glavna hipoteza:

H_g – Inerciona i gravitaciona komponenta opterećenja imaće različit uticaj na kinematičku šemu i dinamički izlaz maksimalnih vertikalnih skokova.

Pomoćne hipoteze:

H_{p-1} - Istovremeno povećanje inercionog i gravitacionog opterećenja najviše će uticati na smanjenje brzine pokreta i na povećanje maksimalne sile.

H_{p-2} – Selektivno povećanje gravitacione komponente opterećenja najmanje će uticati na kinematičku šemu pokreta i omogućiće najveći maksimalni dinamički izlaz.

H_{p-3} – Selektivno povećanje inercione komponente opterećenja izazvaće veće, spuštanje centra mase u ekscentričnoj fazi pokreta i uticaće na produženje trajanja koncentrične faze skoka uvis.

Istraživanje uticaja inercionog i gravitacionog opterećenja na dinamička svojstva mišića ruku i ramenog pojasa (Eksperiment 2)

H_{g1} - Inerciona i gravitaciona komponenta opterećenja imaće različit uticaj na kinematičku šemu i dinamički izlaz maksimalnog izbačaja iz ležećeg položaja na klupi.

5. METODE ISTRAŽIVANJA

U realizovanim istraživanjima, na osnovu eksperimentalno prikupljenih podataka, izvršena je transverzalna, kvalitativna analiza morfološkog statusa i motoričkih sposobnosti ispitanika, pri različitim uslovima izvođenja odabranih zadataka. Sa aspekta tehnike istraživanja, primenjena je opšta tehnika testiranja i specifične tehnike za procenu morfološkog i antropomotoričkog statusa. Nakon prikupljanja podataka primenjene su deskriptivne i komparativne statističke procedure. U okviru komparativne statistike upotrebljena je diskriminativna, parametrijska procedura. Dakle, ovo istraživanje, prema metodološkoj prirodi je eksperimentalnog karaktera, transverzalne vremenske usmerenosti i fundamentalnog stepena opštosti.

5.1. ISTRAŽIVANJE EFEKATA INERCIONOG I GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA DINAMIČKA SVOJSTVA MIŠIĆA NOGU

Celokupan protokol istraživanja realizovan je u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu.

5.1.1. Uzorak ispitanika

U eksperimentu je učestvovalo 15 studenata Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja. Svi ispitanici su bili fizički aktivne osobe koje svoje aktivnosti sprovode u okviru nastave na akademskim studijama Fakulteta, koja obuhvata 6-8 časova nedeljno. Takođe, ispitanici nisu bili aktivni sportisti i nisu imali iskustava u treningu snage. Ispitanici su bili zdravi i bez ikakvih hroničnih oboljenja, srčanih problema, odnosno bez povreda lokomotornog aparata koje bi uticale na rezultate testiranja. Pre početka ekperimenta izrađen je pisani protokol ekperimenta koji uključuje sve potrebne informacije, tako da su, pre započinjanja testiranja, svi ispitanici pročitali i upoznali se

sa predmetom i ciljem istraživanja, a potom potpisom dali saglasnost o učešću u eksperimentu. Takođe, kompletno su objašnjeni svi protokoli testiranja, sa posebnim naznakama vezanim za moguće rizike od povreda.

5.1.2. Tok i postupci istraživanja

U ovom eksperimentu realizovana su merenja u četiri međusobno odvojena dana. Prvog dana eksperiment je obuhvatao antropometrijska merenja i upoznavanje ispitanika sa protokolom testiranja (familiarizacija). Upoznavanje je izvršeno uvežbavanjem tehnike skoka, pri različitim intezitetima komponenti opterećenja.

Drugog dana izvršena su merenja pomoću specijalno konstruisanog sistema za izolovano delovanje komponenti opterećenja (opisan u pilot eksperimentu, Slika 3), kojim se povećavala samo gravitaciona komponenta (G). Ispitanici su izvodili *maksimalni skok uvis (SV)* i *maksimalni skok uvis iz polučučnja sa rukama na bokovima (SV_{pc})* u uslovima 110%G, 120%G, 130%G i 140%G. Inerciona komponenta opterećenja uvek je bila 100%.

Trećeg dana su izvršena merenja gde su, uz pomoć prsluka sa opterećenjem (Pro 75, MiR, USA), istovremeno povećavala i inerciona i gravitaciona komponenta opterećenja (G+I). Ispitanici su izvodili zadatke SV i SV_{pc} u uslovima 110%G+I, 120%G+I, 130%G+I i 140%G+I.

Četvrtog dana izvršena su merenja pomoću specijalno konstruisanog sistema za izolovano delovanje komponenti opterećenja (opisan u pilot eksperimentu, Slika 3), kojim se povećavala samo inerciona komponenta (I). Ispitanici su izvodili SV i SV_{pc} u uslovima 110%I, 120%I, 130%I i 140%I. Gravitaciona komponenta opterećenja uvek je bila 100%.

Sva merenja su bila razdvojena sa dva dana odmora i ispitanicima je sugerisano da se ne bave fizičkim vežbanjem za vreme trajanja eksperimenta. Pre svakog merenja

ispitanici su se zagrevali na sledeći način: 5 minuta vožnje na bicikl ergometru, 5 minuta vežbi oblikovanja i 5 minuta dinamičkog rastezanja. Svakom testu prethodilo je detaljno objašnjenje i odgovarajuća demonstracija. Po jedan iskusen merilac bio je angažovan u realizaciji testiranja za svaku grupu testova.

Ispitanici su izvodili po tri pokušaja pri svakom uslovu opterećenja, prvi skok je bio probni, dok su druga dva bila eksperimentalna. Skok sa većom maksimalnom brzinom uzet je za dalju analizu. U toku tri dana testiranja ispitanici su izveli ukupno 78 vertikalnih skokova ($SV + SV_{pč}$) - 13 vrsti opterećenja x 3 skoka pri svakom opterećenju x 2 zadatka. Dakle, ispitanici su imali 13 uslova opterećenja, 110%, 120%, 130% i 140% od svake komponente opterećenja (G, G+I, I), uključujući i skok bez spoljašnjeg opterećenja. Pauza između skokova bila je 15 sekundi, a između promene vrste opterećenja jedan minut. Platforma sile je služila za fina podešavanja sile vuče elastičnih guma, težine prsluka i kombinacije guma i prsluka.

5.1.3. Uzorak varijabli i način njihovog merenja

Sve varijable u ovom istraživanju podeljene su u dve grupe u odnosu na njihovu metodološku prirodu, odnosno, odgovarajuće morfološke varijable kojima su utvrđivani morfološki statusi i određene motoričke varijable kojima su procenjivana dinamička svojstva mišića nogu.

5.1.3.1. *Varijable za procenu morfološkog statusa*

Procena morfološkog statusa ispitanika u realizovanom eksperimentu vršena su na osnovu podataka prikupljenih merenjem visine i mase tela, kao i na osnovu procenta masnog tkiva dobijenog indirektnom metodom računanja. Tokom svih

antropometrijskih merenja ispitanici su bili bosi i minimalno obučeni (samo kratki šorts).

Merenje *visine tela* (VT) vršeno je korišćenjem antropometra po Martinu čija je tačnost merenja 0.1 cm. Svaki ispitanik nalazio se u standardnom stojećem stavu na čvrstoj, vodoravnoj podlozi. Stopala su bila sastavljena, a pete, sedalna regija i gornji deo leđa dodirivala antropometar. Glava se nalazila u položaju Frankfurtske ravni ne dodirujući skalu antropometra (Norton i sar., 2000).

Merenje *mase tela* (MT) vršeno je na čvrstoj, vodoravnoj podlozi korišćenjem vage čija je tačnost merenja 0.1 kg.

Indirektna procena zastupljenosti *masnog tkiva* izvršena je pomoću bioelektrične impedance (In body 720, USA).

5.1.3.2. Varijable za procenu dinamičkih svojstava mišića nogu

Za procenu dinamičkih svojstava mišića ispitanika u ovom eksperimentu korišćeni su testovi za procenu maksimalne snage mišića nogu. U pravcu generalizacije rezultata, ali i ispitivanja uticaja inercione i gravitacione komponente opterećenja na vertikalne skokove, sa i bez mogućnosti prilagođavanja, korišćene su dve varijante vertikalnog skoka.

Maksimalni skok uvis (SV)

Prilikom izvođenja SV, ispitanicima je sugerisano, da iz uspravnog stava brzo počučnu i brzo zamahnu rukama kao priprema za odskok i, povezano sa tim, što više odskoče.

Maksimalni skok uvis iz polučučnja ($SV_{pč}$)

Kod $SV_{pč}$, od ispitanika je zahtevano da držeći šake na kukovima, iz polučučnja, pri uglu u zglobu kolena od 90° , izvedu skok uvis (Slika 7). Kako bi se obezbedili

uslovi izvođenja skoka u isključivo koncentričnom režimu rada mišića bilo je zabranjeno i najmanje izvođenje dodatnog počučnja ili zamaha trupom kao pripreme za odskok, u suprotnom skok je ponavljan.



Slika 7. Pozicija iz koje je izvođen maksimalni skok uvis iz polučučnja u uslovima primene različitih komponenti opterećenja (SV_{pe})

Obe vrste skoka ispitanici su izvodili u 13 različitih uslova:

- povećanom G komponentom za 10, 20, 30 i 40% od TM;
- povećanom G+I komponentom istovremeno za 10, 20, 30 i 40% od TM;
- povećanom I komponentom za 10, 20, 30 i 40% od TM i
- skokovi bez dodatnog opterećenja.

Na osnovu zapisa sile računane su sledeće varijable:

Skok uvis (SV) - Maksimalno spuštanje centra mase tokom ekscentrične faze skoka (Δh_{ecc}), Trajanje koncentrične faze skoka (T_{conc}), Maksimalna brzina (V_{max}), Sila reakcije podloge u momentu prelaska iz ekscentrične u koncentričnu fazu skoka (F_{trp}), Maksimalna sila reakcije podloge tokom koncentrične faze (F_{max}), Srednja snaga (P_{mean}) i Maksimalna snaga u koncentričnoj fazi skoka (P_{max}).

Skok uvis iz polučučnja ($SV_{pč}$) – Maksimalna brzina kretanja (V_{max}), Trajanje koncentrične faze skoka (T_{conc}), Maksimalna sila reakcije podloge (F_{max}), Srednja snaga (P_{mean}) i Maksimalna snaga (P_{max}).

Uzimajući u obzir činjenicu da sila elastičnih guma menja ubrzanje tela tokom faze leta, efikasnost skoka procenjavana je na osnovu maksimalne brzine tela tokom koncentrične faze skoka (V_{peak}), umesto na osnovu visine skoka (Marković i Jarić, 2007). Pouzdanost izračunavanih, mehaničkih varijabli, pokazala se kao veoma visoka u odnosu na veliki opseg primenjivanih opterećenja (Marković i Jarić, 2007).

5.1.4. Prikupljanje i obrada podataka

Za snimanje signala vertikalne komponente sile reakcije podloge kod zadataka SV i $SV_{pč}$ korišćena je platforma sile, montirana i kalibrirana prema specifikacijama proizvođača (dimenzija 40 x 60 cm, AMTI, Inc., Newton MA, USA). Frekvencija snimanja zapisa sile bila je na 1kHz. Za potrebe ovog istraživanja u cilju prikupljanja i obrade dobijenih podataka korišćen je softver urađen u LabView programu (National Instruments, Version 8.2). Signali vertikalne komponente sile reakcije podloge prvo su obrađeni Batervortovim niskopropusnim filterom drugog reda od 10 Hz, nakon čega je primenjena tehnika vremenskog usrednjavanja od 10 ms. Brzina i položaj centra mase izračunavani su metodom direktne dinamike na osnovu ubrzanja procenjenog iz zapisa vertikalne komponente sile reakcije podloge. Posmatrajući kinetičku i kinematičku šemu izvođenja zadataka (VS i $VS_{pč}$), u različitim uslovima opterećenja, glavne varijable koje su naknadno računane iz sačuvanih zapisa sile su: Maksimalna snaga (P_{max}) i Prosečna snaga (P_{mean}).

5.1.5. Statistička analiza

Deskriptivna statistika za sve praćene varijable izražena je kroz srednje vrednosti i standardnu devijaciju. Normalnost raspodele za sve zavisne varijable testirana je pomoću Kolmogorov-Smirnov testa. Efekat tipa (G, G+I, I) i veličine (110%, 120%, 130% i 140%) primenjivanih spoljašnjih opterećenja na sve zavisne varijable testirana je pomoću dvofaktorske analize varijanse (ANOVA). Dalja analiza efekata komponenti i veličine opterećenja kao i njihova interakcija testirana je Bonferroni post-hoc testom. Prag značajnosti statističkih nalaza postavljen je na nivou $p = 0,05$. Svi statistički postupci su izračunavani korišćenjem SPSS 16.0 softvera (SPSS Inc, Chicago, IL) i Office Excel 2003 (Microsoft Corporation, Redmond, WA)

5.2. ISTRAŽIVANJE EFEKATA INERCIONOG I GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA DINAMIČKA SVOJSTVA MIŠIĆA RUKU

Celokupan protokol sprovedenog istraživanja realizovan je u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu.

5.2.1. Uzorak ispitanika

U eksperimentu je učestvovalo 15 studenata Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja. Svi ispitanici su bili fizički aktivne osobe koje svoje aktivnosti sprovode u okviru nastave na akademskim studijama Fakulteta, koja obuhvata 6-8 časova fizičkog vežbanja nedeljno. Takođe, ispitanici nisu bili aktivni sportisti i nisu imali iskustava u treningu snage. Ispitanici su bili zdravi i bez ikakvih hroničnih oboljenja, srčanih problema, odnosno bez povreda lokomotornog aparata koje bi uticale na rezultate

testiranja. Pre početka ekperimenta izrađen je pisani protokol ekperimenta koji uključuje sve potrebne informacije, tako da su, pre započinjanja testiranja, svi ispitanici pročitali i upoznali se sa predmetom i ciljem istraživanja, a potom potpisali saglasnost o učešću u eksperimentu. Takođe, kompletno su objašnjeni svi protokoli testiranja, sa posebnim naznakama vezanim za moguće rizike od povreda.

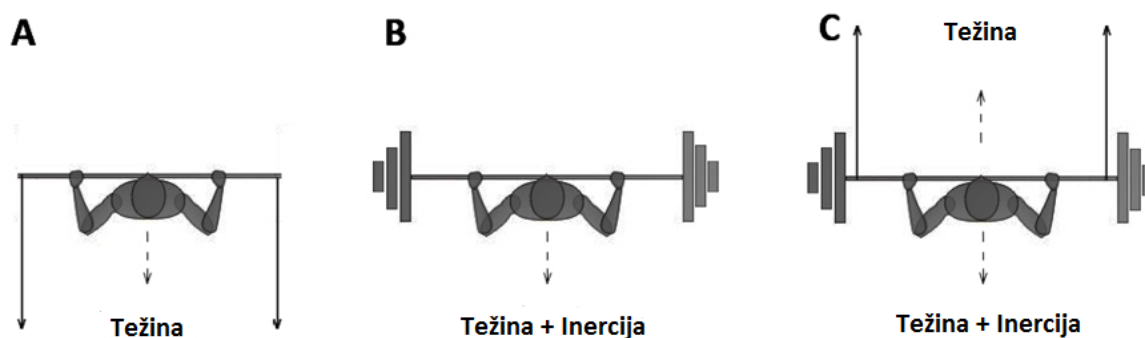
5.2.2. Tok i postupci istraživanja

U realizovanom esperimentu izvršena su merenja u četiri međusobno odvojena dana. Prvog dana eksperiment je obuhvatao antropometrijska merenja i upoznavanje ispitanika sa protokolom testiranja (familiarizacija). Upoznavanje je izvršeno putem uvežbavanja tehnike izbačaja, pri različitim intezitetima komponenti opterećenja.

Drugog dana izvršena su merenja uz pomoć specijalno konstruisanog sistema za izolovano delovanje komponenti opterećenja (Slika 7A), kojim se povećavala samo gravitaciona komponenta (G). Ispitanici su izvodili *maksimalni izbačaj iz ležećeg položaja na klupi* (I_{pk}) u uslovima referentnog opterećenja (RO) + gravitaciono opterećenje (G) u intezitetu 10, 20, 30, 40, 50 i 60% u odnosu na jedan ponavljajući maksimum (1PM). Referentno opterećenje (RO) predstavljalo je masu šipke i masu ruku, protiv čije su i gravitacije i inercije ispitanici delovali u svakom uslovu izbačaja.

Trećeg dana izvršena su merenja uz pomoć težine dodvanih tegova, kojima su se istovremeno povećavala i inerciona i gravitaciona komponenta opterećenja (G+I). Ispitanici su izvodili zadatak I_{pk} u uslovima RO + 10, 20, 30, 40, 50 i 60% 1PM - G+I (Slika 7B).

Četvrtog dana izvršena su merenja uz pomoć specijalno konstruisanog sistema za izolovano delovanje komponenti opterećenja (Slika 7C), kojim će se povećavati samo inerciona komponenta (I). Ispitanici su izvodili I_{pk} u uslovima RO + 10, 20, 30, 40, 50 i 60% 1PM - I.



Slika 8. Šematski prikaz primenjenih opterećenja. (A) Elastične gume vuku na dole relativno konstantnom silom, simulirajući povećanje gravitacione komponente (G), (B) tegovi simuliraju povećanje gravitacione i inercione komponente opterećenja (G+I), dok (C) kovarijacija tegova i elastičnih guma, koje vuku na gore, simulira povećanje inercione komponente (I).

Sva merenja su razdvojena sa tri dana odmora i ispitanicima je sugerisano da se ne bave dodatnim fizičkim vežbanjem za vreme trajanja eksperimenta. Pre svakog merenja ispitanici se se zagrevali na sledeći način: 5 minuta vežbi razgibavanja, 10 ponavljanja I_{pk} pri opterećenju koje je jednako 40% od 1 PM i 5 minuta dinamičkog rastezanja mišića ruku i mišića ramenog pojasa. Svakom testu predhodilo je detaljno objašnjenje i odgovarajuća demonstracija. Po jedan iskusen merilac angažovan je da vrši testiranje za svaku grupu testova.

Ispitanici su izvodili po tri pokušaja pri svakom uslovu opterećenja, prvi izbačaj je bio probni, dok su druga dva bila eksperimentalna. Izbačaj sa većom maksimalnom brzinom uzet za dalju analizu. U toku tri dana testiranja ispitanici su izveli ukupno 57 izbačaja iz ležećeg položaja na klupi (I_{pk}) - 19 vrsta opterećenja x 3 izbačaja pri svakom opterećenju. Dakle, ispitanici su imali 19 uslova opterećenja - RO + 10%, 20%, 30%, 40%, 50% i 60% (od 1PM) svakog tipa opterećenja (G, G+I, I), uključujući i I_{pk} samo sa referentnim opterećenjem (RO). Pauza između pokušaja bila je 30 sekundi, a između promene tipa opterećenja tri minuta.

5.2.3. Uzorak varijabli i način njihovog merenja

Sve varijable u ovom istraživanju podeljene su u dve grupe u odnosu na njihovu metodološku prirodu, odnosno, odgovarajuće morfološke varijable kojima je utvrđen morfološki status i odgovarajuće motoričke varijable kojima su procenjivana dinamička svojstva mišića ruku.

5.2.3.1. Varijable za procenu morfološkog statusa

Procena morfološkog statusa ispitanika u realizovanom eksperimentu vršena je na osnovu podataka prikupljenih merenjem visine i mase tela, kao i procenta masnog tkiva dobijenog indirektnom metodom računanja. Tokom svih antropometrijskih merenja ispitanici su bili bos i minimalno obučeni (samo kratki šorts).

Merenje *visine tela* (VT) izvršeno je korišćenjem antropometra po Martinu čija je tačnost merenja 0.1 cm. Svaki ispitanik nalazio se u standardnom stojećem stavu na čvrstoj, vodoravnoj podlozi. Stopala su bila sastavljena, a pete, sedalna regija i gornji deo leđa u kontaktu sa antropometrom. Glava je bila u položaju Frankfurtske ravni ne dodirujući skalu antropometra (Norton i sar., 2000).

Merenje *mase tela* (MT) vršeno je na čvrstoj, vodoravnoj podlozi korišćenjem vage čija je tačnost merenja 0.1 kg.

Indirektna procena zastupljenosti *masnog tkiva* izvršena je pomoću bioelektrične impedance (In body 720, USA).

5.2.3.2. Varijable za procenu dinamičkih svojstava mišića ruku

U cilju procene motoričkog statusa ispitanika u realizovanom eksperimentu korišćeni su sledeći testovi za procenu maksimalne jačine i maksimalne snage mišića ruku.

Maksimalan potisak iz ležećeg položaja na klupi ($1PM_{Ipk}$)

Procena jačine mišića ruku, $1PM_{Ipk}$ testom, bila je u funkciji doziranja opterećenja u daljem testiranju. Naime intezitet komponenti opterećenja, u rasponu od 10 do 60%, određen je na osnovu rezultata svakog ispitanika na $1PM_{Ipk}$ testu. Merenje $1PM_{Ipk}$ vršeno je korišćenjem Smit mašine. Nakon tri serije zagrevanja progresivnim povećanjem inteziteta opterećenja, ispitanici su pokušavali da podignu maksimalno opterećenje. Dva do tri pokušaja su izvodili sve dok ispitanici nisu ostvarili punu ekstenziju u zglobu lakta sa najvećim mogućim opterećenjem. Odmor između pokušaja bio je 4 minuta. Šipka je bila pozicionirana 1 cm iznad grudi ispitanika, a taj položaj šipke obezbedili su bočni osigurači na spravi. Ispitanicima je sugerisano da izvode pokret tako da u zglobu ramena zauzimaju položaj abdukcije 90° , kako bi se obezbedili uslovi za izvođenje pokreta na pravilan način tokom celog zadatka (Newton i sar., 1997). Leđa su bila celom dužinom oslonjena na klupu, stopala kao i karlica sve vreme u kontaktu sa podlogom. Maksimalno podignuto opterećenje beleženo je u kilogramima, sa preciznošću od 1.25 kg, što predstavlja najmanju težinu tega.

Izbačaj iz ležećeg položaja na klupi (I_{Ipk})

Merenje I_{Ipk} testom realizovano je na istoj spravi kao i na $1PM_{Ipk}$ testu (Smit mašina). Ispitanici su zauzimali identičan početni položaj kao u $1PM_{Ipk}$ testu. Od ispitanika je zahtevano da, na zadati signal, maksimalno brzo podignu teret i na kraju pokreta ga što više izbace.

Ispitanici su izvodili test u 19 različitih uslova:

- Referentno opterećenje (RO);
- RO + G opterećenje u intezitetu od 10, 20, 30, 40, 50 i 60% od $1PM_{Ipk}$;
- RO + G+I opterećenje u intezitetu od 10, 20, 30, 40, 50 i 60% od $1PM_{Ipk}$;
- RO + I opterećenje u intezitetu od 10, 20, 30, 40, 50 i 60% od $1PM_{Ipk}$.

Na osnovu zapisa brzine pomeraja šipke računane su sledeće varijable: Maksimalna sila (F_{\max}), Maksimalna brzina (V_{\max}), Maksimalna snaga (P_{\max}), Vreme dostizanja maksimalne sile ($T_{f\max}$), Vreme dostizanja maksimalne brzine ($T_{v\max}$) i Vreme dostizanja maksimalne snage ($T_{p\max}$).

5.2.4. Prikupljanje i obrada podataka

Za prikupljanje podataka kod testa I_{pk} korišćen je optički enkoder, kojim su se snimali signali vertikalnog pomeraja šipke, montiran i kalibriasan prema specifikacijama proizvođača. Frekvencija snimanja zapisa pomeraja šipke bila je na 200 Hz. Signali brzine pomeraja obrađeni su primenom Batervortov niskopropusnog filtera drugog reda od 5 Hz. Način prikupljanja podataka ovom metodom evaluiran je u predhodnim istraživanjima (Cronin i sar., 2000). Na osnovu zapisa brzine pomeraja šipke, metodom direktne dinamike izračunavano je ubrzanje a zatim i sila u jedinici vremena. Ukupna sila koja deluje na šipku izračunavana je kao suma svih sila koje potiču od ukupne gravitacione komponente G (na primer, suma gravitacione sile RO i dodatih tegova plus sila elastičnih guma) i ukupne inercione komponente I (masa RO i dodatih tegova pomnožena sa ubrzanjem).

5.2.5. Statistička analiza

Deskriptivna statistika za sve praćene varijable izražena je kroz srednje vrednosti i standardnu devijaciju. Normalnost raspodele za sve zavisne varijable testirana je pomoću Kolmogorov-Smirnov testa. Pošto nije bilo narušavanja normalnosti podataka ($p \geq 0.12$) efekat tipa (G , $G+I$, I) i veličine ($RO+10\%$, $RO+20\%$, $RO+30\%$, $RO+40\%$, $RO+50\%$ i $RO+60\%$ od $1PM$) primenjivanih spoljašnjih opterećenja na sve zavisne

varijable testiran je pomoću 3x6 dvofaktorske analize varijanse (ANOVA). Uzimajući u obzir činjenicu da je utvrđeno postojanje glavnog efekta primenjen je Bonferroni post-hoc test. Prag značajnosti statističkih nalaza postavljen je na nivou $p = 0,05$. Svi statistički postupci izračunavani su korišćenjem SPSS 16.0 softvera (SPSS Inc, Chicago, IL) i Office Excel 2003 (Microsoft Corporation, Redmond, WA)

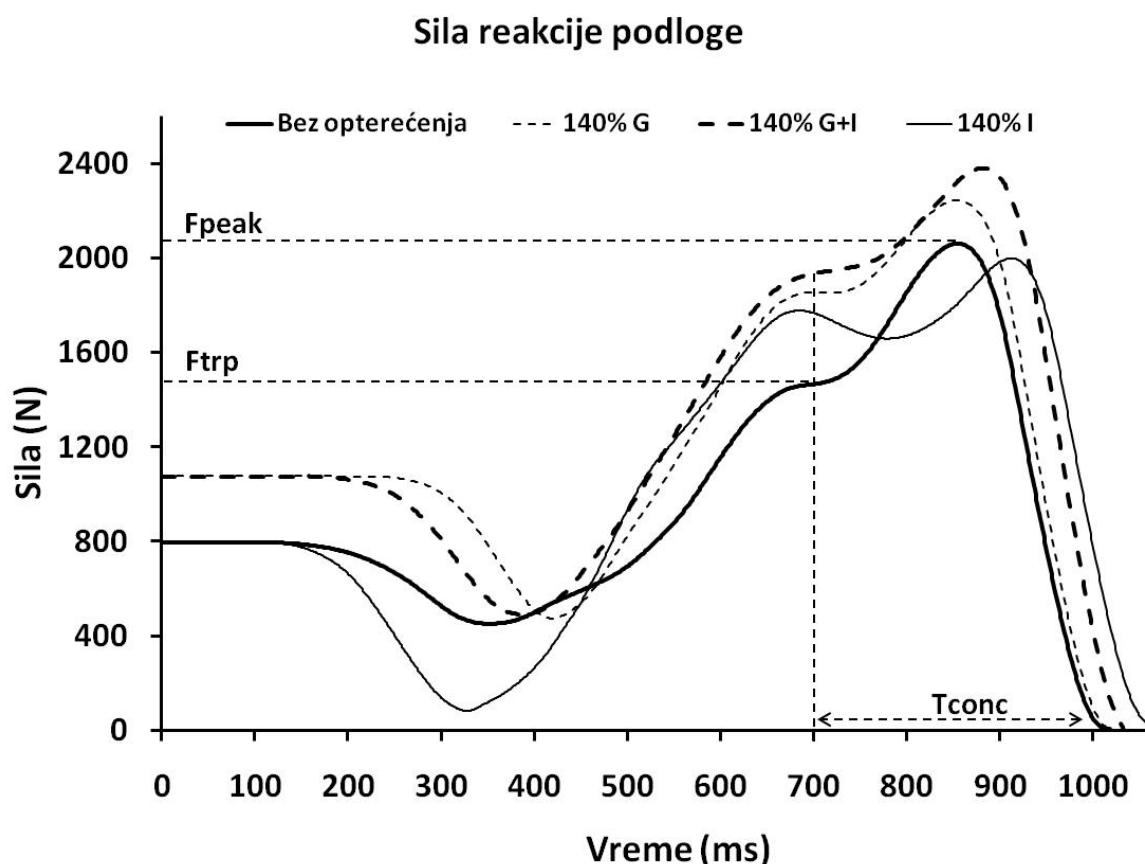
6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultati istraživanja prikazani su tako da omogućе uvid u sve kvantitativne pokazatelje koji će u daljem tekstu biti diskutovani. Deskriptivni pokazatelji (srednja vrednost i standardna devijacija) zavisnih varijabli za procenu dinamičkih svojstava mišića, kao i rezultati dvofaktorske analize varijanse (ANOVA) biće prikazani tabelarno. Takođe, u cilju lakšeg tumačenja dobijenih rezultata, statistički rezultati prikazani su i grafički. Rezultat dvofaktorske analize varijanse (ANOVA), gde su glavni efekti komponenta i intezitet primenjivanih opterećenja, označen je strelicama i znacima jednakosti za oba efekta ($<$ značajno više; \leq jednako sa prvim a više od ostalih; $=$ nema razlike). Efekti komponenti i inteziteta opterećenja, upoređivani su sa skokovima bez opterećenja..

6.1. REZULTATI ISTRAŽIVANJA EFEKATA INERCIONOG I GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA DINAMIČKA SVOJSTVA MIŠIĆA NOGU

U ovom istraživanju učestvovalo je ukupno 15 ispitanika, starih 23.5 godina (± 2.4). Ispitanici su bili visoki 180.8 cm (± 7.4) sa telesnom masom 78.1 kg (± 7.5). Procenat masnog tkiva ispitanika iznosio je 13.8 % (± 4.7).

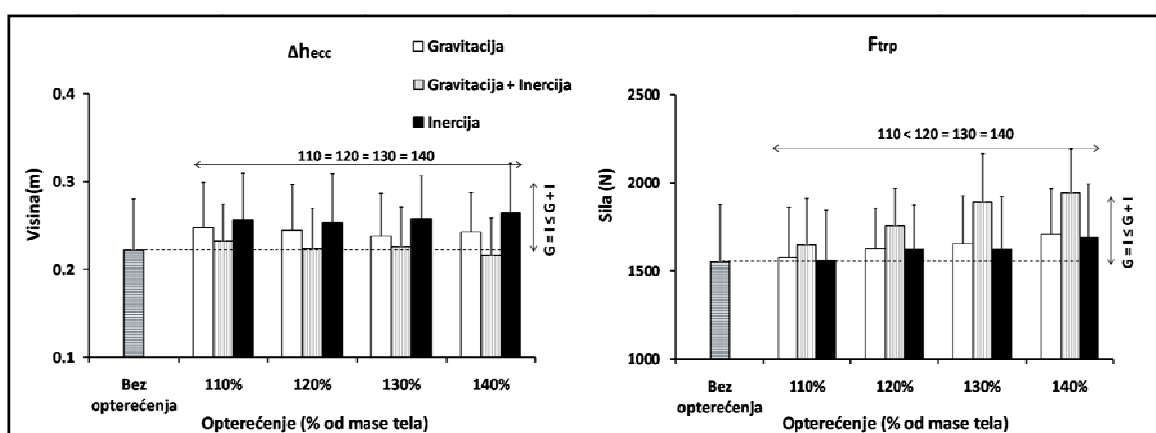
Kinetička i kinematička analiza izvođenja odabranih zadataka (SV i SV_{pc}), pokazala je određene zakonomernosti vezane za uticaj komponenti opterećenja na performanse mišića nogu. Na slici 9 se mogu videti vremenski nizovi vertikalne sile reakcije podloge u četiri uslova izvođenja maksimalnog skoka uvis: bez opterećenja, sa povećanim intezitetom gravitacione komponente (140%G), gravitacione i inercione komponente zajedno (140%G+I) i inercione komponente opterećenja (140%I). Zapisi sile poravnati su prema trenutku prelaska iz ekscentrične u koncentričnu fazu skoka. Na osnovu dobijenih rezultata vidi se da se sa povećanjem gravitacione komponente opterećenja povećava i sila u trenutku tranzicije, kao i maksimalna sila u koncentričnoj fazi skoka, dok povećanje inercione komponente opterećenja uslovljava produženo trajanje koncentrične faze skoka. Takođe, povećan intezitet gravitacione komponente opterećenja uticao je na skraćenje ekcentrične faze skoka (Slika 9).



Slika 9. Vertikalna komponenta sile reakcije podloge, na uzorku reprezentativnog ispitanika, pri skoku uvis bez opterećenja (puna debela linija), i sa povećanim intezitetom za 40% od mase tela gravitacione komponente (140%G; puna tanka linija), inercione i gravitacione istovremeno (140%G+I; isprekidana debela linija) i inercione komponente opterećenja (140%I; isprekidana debela linija)

Odabrani zadaci, skok uvis i skok uvis iz polučunja, prema prirodi njihovog izvođenja razlikuju se u tome što kod skoka uvis imamo ekscentričnu fazu skoka (spuštanje). Prema tome, spuštanje centra mase u ekscentričnoj fazi (Δh_{ecc}) i sila u trenutku pelaska iz ekscentrične u koncentričnu fazu skoka (F_{trp}) su varijable koje su direktno vezane samo za skok uvis. Uticaj povećanja inteziteta komponenti opterećenja na Δh_{ecc} i F_{trp} može se videti na slici 10. Rezultati pokazuju da su se ispitanici više spuštali sa izolovanim povećanjem G i I komponente opterećenja u odnosu na njihovo istovremeno povećanje (G+I). Efekat povećanja inteziteta opterećenja ne postoji, ali se može primetiti da sa povećanjem G+I opterećenja spuštanje centra mase nije se bitnije razlikovalo u odnosu na skokove bez opterećenja (≈ 22 cm). Povećanje G i I

komponente opterećenja za 10% neznatno je povećalo spuštanje centra mase tela ali se nije značajnije menjalo sa daljim povećanjem inteziteta (≈ 25 cm). Sila u trenutku prelaska iz ekscentrične u koncentričnu fazu skoka uvis (F_{trp}) se povećavala sa porastom inteziteta primenjivanih opterećenja, ali značajno povećanje zabeleženo je samo kod G+I komponente opterećenja. Na slici 10 se može videti da je sila u trenutku prelaska iz ekscentrične u koncentričnu fazu skoka, pri opterećenju G+I 140%, iznosila približno 2000 N.

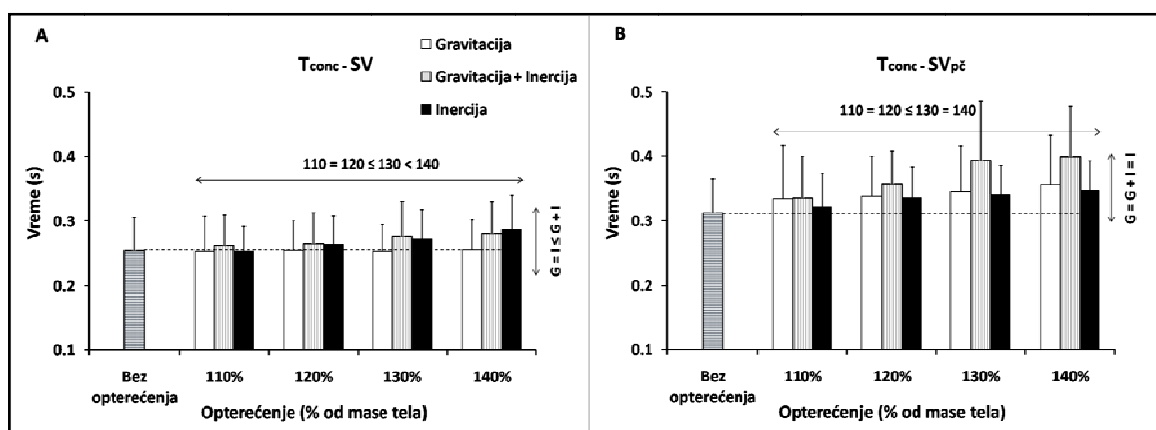


Slika 10. Spuštanje centra mase (Δh_{ecc}) u ekscentričnoj fazi i intezitet vertikalne komponente sile reakcije podloge u trenutku prelaska iz ekscentrične u koncentričnu fazu maksimalnog skoka uvis (F_{trp}) u zavisnosti od povećanja inteziteta pojedinih komponenti opterećenja (G, G+I, I).

U daljem tekstu prikaz varijabli omogućiće uporednu, deskriptivnu, analizu testiranih varijabli, na zadacima maksimalnog skoka uvis (SV) i maksimalnog skoka uvis iz polučučnja ($SV_{pč}$). Na ovaj način, uticaj komponenti opterećenja na kinetiku i kinematiku izvođenja, videće se na pokretima sa većim i manjim brojem stepeni slobode.

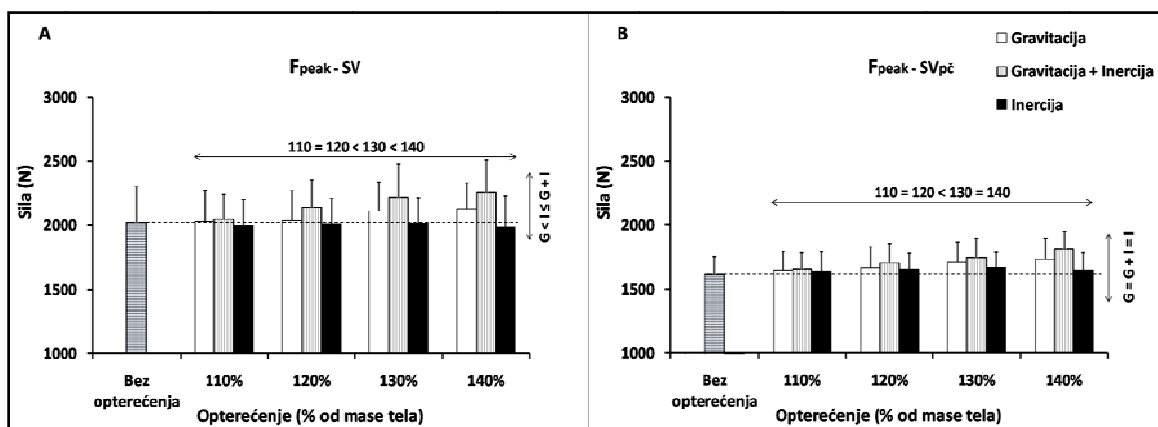
Trajanje koncentrične faze skoka za oba testirana zadatka (SV i $SV_{pč}$) može se videti na Slici 11. Povećanje inteziteta primenjivanih opterećenja dovelo je do produženog trajanja koncentrične faze skoka uvis, ali samo kada je u pitanju povećanje inteziteta inercione komponente i inercione i gravitacione komponente opterećenja istovremeno (Slika 11A). Promena inteziteta opterećenja gravitacione komponente nije uticala na trajanje koncentrične faze skoka. Međutim, trajanje koncentrične faze skoka uvis iz polučučnja se takođe povećavalo sa povećanjem inteziteta opterećenja ali nije

bilo efekta komponente opterećenja, odnosno trajanje koncentrične faze skoka se podjednako povećavalo u sva tri uslova izvođenja skoka (Slika 11B). Upporedna analiza skoka uvis i skoka uvis iz polučučnja pokazuje da je trajanje koncentrične faze kraće kod skoka uvis (≈ 0.25 sec), što je i očekivano uzimajući u obzir činjenicu da koncentričnoj fazi skoka uvis predhodi ekscentrična faza.



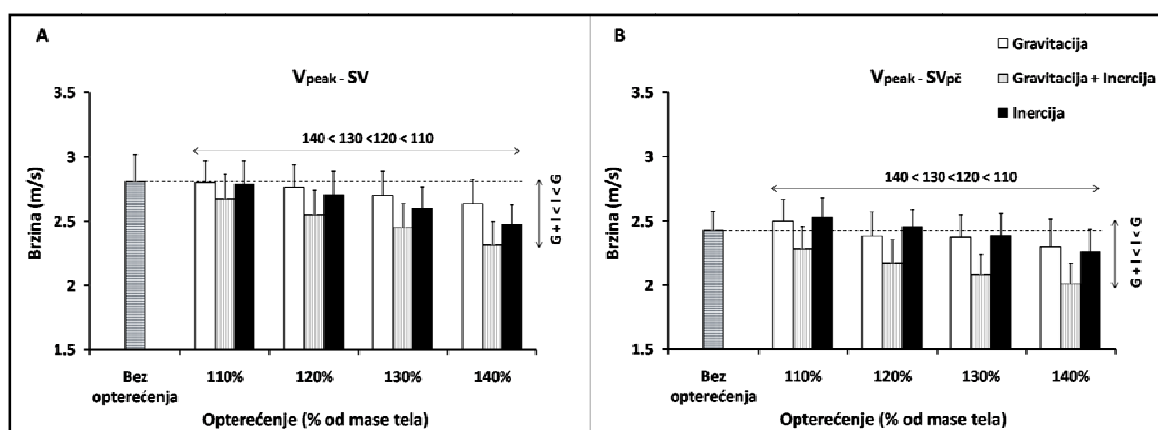
Slika 11. Trajanje koncentrične faze skoka uvis (A; $T_{conc} - SV$) i skoka uvis iz polučučnja (B; $T_{conc} - SV_{pč}$) u zavisnosti od povećanja inteziteta pojedinih komponenti opterećenja (G , $G+I$, I)

Intezitet, maksimalne, vertikalne komponente sile reakcije podloge, testiranih zadataka, a u odnosu na intezitet primenjivanih komponenti opterećenja može se videti na Slici 12 i Tabeli 1. Maksimalna sila u koncentričnoj fazi skoka, kod oba zadatka, raste sa povećanjem inteziteta opterećenja, ali je povećanje najizraženije kod povećanja inercione i gravitacione komponente istovremeno, posebno kod skoka uvis (Slika 12A). Maksimalna sila prilikom izvođenja skoka uvis iz polučučnja značajno je manja u odnosu na skok uvis, $SV \approx 2000$ N; $SV_{pč} \approx 1700$ N.



Slika 12. Maksimalna sila u koncentričnoj fazi skoka uvis (A; $F_{peak} - SV$) i skoka uvis iz polučučnja (B; $F_{peak} - SV_{pč}$) u zavisnosti od povećanja inteziteta pojedinih komponenti opterećenja (G , $G+I$, I)

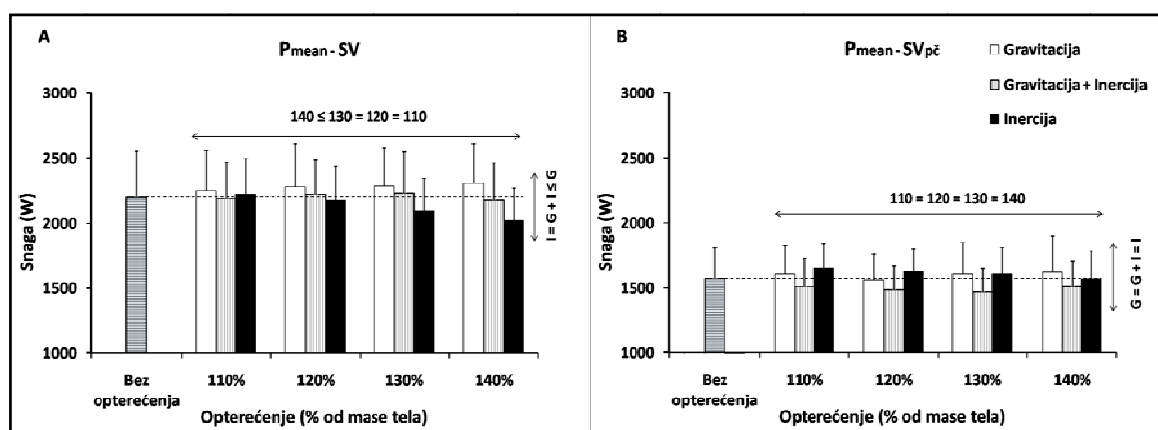
Maksimalna brzina kretanja centra mase, u oba testirana zadatka, opada sa povećanjem inteziteta opterećenja (Slika 13; A, B). Najmanje uticaja na opadanje brzine kretanja imalo je povećanje gravitacione komponente, dok je najveći uticaj na “obaranje” brzine kretanja imalo istovremeno povećanje inercione i gravitacione komponente opterećenja. Dakle, isti efekti vrste i veličine opterećenja na brzinu kretanja dobijeni su na zadatku skoka uvis i zadatku skoka uvis iz polučučnja (Slika 13; A, B).



Slika 13. Maksimalna brzina kretanja centra mase u koncentričnoj fazi skoka uvis (A; $V_{peak} - SV$) i skoka uvis iz polučučnja (B; $V_{peak} - SV_{pč}$) u zavisnosti od povećanja inteziteta pojedinih komponenti opterećenja (G , $G+I$, I)

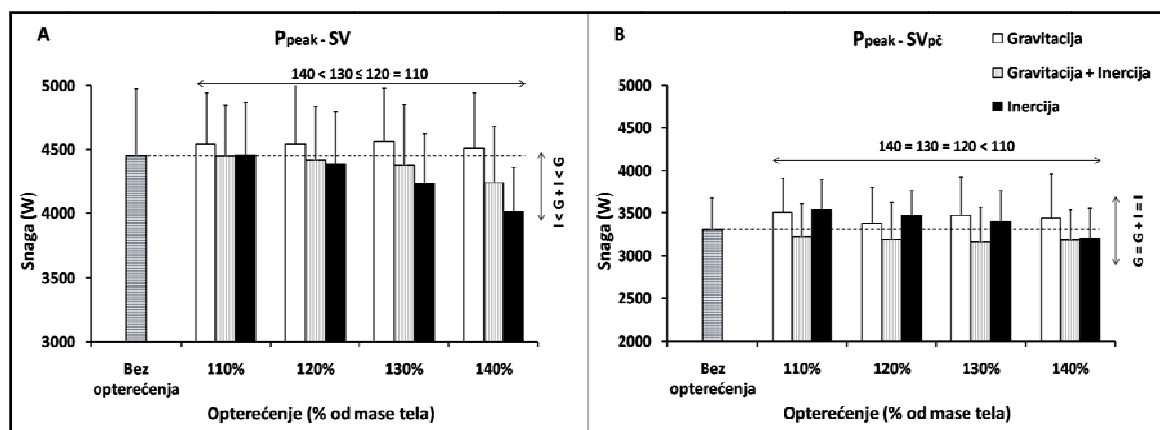
Efekti komponente i veličine primenjivanih opterećenja na performanse izvođenih zadataka i maksimalni dinamički izlaz mogu se videti na slikama 14 i 15, kao i u tabelama 1 i 2. Srednja snaga u koncentričnoj fazi skoka uvis opada sa povećanjem

inteziteta inercionog opterećenja, ne menja se sa istovremenim povećanjem inercionog i gravitacionog opterećenja, dok raste sa povećanjem inteziteta gravitacione komponente opterećenja (Slika 14A). Izvođenje skoka uvis iz polučučnja pokazalo je da nema efekata komponente i veličine opterećenja na maksimalni dinamički izlaz procenjivan kroz srednju i maksimalnu snagu u koncentričnoj fazi skoka (Slika 14B; 15B).



Slika 14. Srednja snaga u koncentričnoj fazi skoka uvis (A; $P_{mean} - SV$) i skoka uvis iz polučučnja (B; $P_{mean} - SVpč$) u zavisnosti od povećanja inteziteta pojedinih komponenti opterećenja (G , $G+I$, I)

Maksimalna snaga u koncentričnoj fazi skoka uvis pokazuje da povećanje inteziteta inercione komponente opterećenja najviše utiče na “obaranje” maksimalne snage, dok dobijeni rezultati na zadatku skoka uvis iz polučučnja ukazuju da nema efekata vrste opterećenja na dinamički izlaz (Slika 15; A, B). Povećanje inteziteta gravitacione komponente opterećenja nije dovelo do opadanja maksimalne snage u oba testirana zadatka. Vrednosti maksimalne snage prilikom izvođenja skoka uvis bile su ≈ 4500 W, a u zadatku skoka uvis iz polučučnja ≈ 3500 W.



Slika 15. Maksimalna snaga u koncentričnoj fazi skoka uvis (A; $P_{peak} - SV$) i skoka uvis iz polučučnja (B; $P_{peak} - SV_{pč}$) u zavisnosti od povećanja inteziteta pojedinih komponenti opterećenja (G , $G+I$, I)

Tabela 1. Glavni efekti komponente opterećenja, inteziteta opterećenja i njihove interakcije na zavisne varijable, maksimalnog skoka uvis, procenjivani kroz statističku značajnost i odgovarajući efekat veličine.

Varijable	ANOVAs	F	Main Effect p - level	Effect size $p \eta^2$	Effect size descriptor	Post hoc *
Δh_{ecc}	Komponenta	17.99	< 0.001	0.562	Veliki	$I = G < G+I$
	Intezitet	1.04	> 0.10	0.069	Mali	$110 = 120 = 130 = 140$
	Interakcija	1.97	> 0.10	0.123	Umereni	
T_{conc}	Komponenta	11.08	< 0.001	0.442	Veliki	$G < G+I = I$
	Intezitet	14.77	< 0.001	0.513	Veliki	$110 = 120 \leq 130 < 140$
	Interakcija	3.99	< 0.001	0.222	Veliki	
F_{trp}	Komponenta	17.82	< 0.001	0.56	Veliki	$I = G < G+I$
	Intezitet	22.15	< 0.001	0.613	Veliki	$110 < 120 = 130 = 140$
	Interakcija	3.32	< 0.01	0.192	Veliki	
F_{max}	Komponenta	32.87	< 0.001	0.701	Veliki	$I < G < G+I$
	Intezitet	22.23	< 0.001	0.614	Veliki	$110 = 120 < 130 < 140$
	Interakcija	7.64	< 0.001	0.353	Veliki	
V_{peak}	Komponenta	84.07	< 0.001	0.875	Veliki	$G+I < I < G$
	Intezitet	658.31	< 0.001	0.979	Veliki	$140 < 130 < 120 < 110$
	Interakcija	17.25	< 0.001	0.522	Veliki	
P_{max}	Komponenta	16.41	< 0.001	0.54	Veliki	$I < G+I < G$
	Intezitet	39.14	< 0.001	0.737	Veliki	$140 < 130 \leq 120 = 110$
	Interakcija	8.01	< 0.001	0.364	Veliki	
P_{mean}	Komponenta	11.4	< 0.001	0.449	Veliki	$I = G+I \leq G$
	Intezitet	3.16	< 0.05	0.184	Veliki	$140 \leq 130 = 120 = 110$
	Interakcija	6.27	< 0.001	0.309	Veliki	

Tabela 2. Glavni efekti komponente opterećenja, inteziteta opterećenja i njihove interakcije na zavisne varijable, maksimalnog skoka uvis iz polučučnja, procenjivani kroz njihovu statističku značajnost i odgovarajući efekat veličine.

Varijable	ANOVAs	F	Main Effect p - level	Effect size η^2	Effect size descriptor	Post hoc *
T_{conc}	Komponenta	0.309	> 0.1	0.018	Mali	G = G+I = I
	Intezitet	12.454	< 0.001	0.258	Veliki	110 = 120 ≤ 130 = 140
	Interakcija	0.497	> 0.1	0.028	Mali	
F_{peak}	Komponenta	1.152	> 0.1	0.052	Mali	G = G+I = I
	Intezitet	25.355	< 0.001	0.376	Veliki	110 = 120 < 130 = 140
	Interakcija	6.507	< 0.001	0.237	Veliki	
V_{peak}	Komponenta	13.298	< 0.001	0.388	Veliki	G+I < I < G
	Intezitet	80.376	< 0.001	0.657	Veliki	140 < 130 < 120 < 110
	Interakcija	1.91	< 0.1	0.083	Umereni	
P_{peak}	Komponenta	1.943	> 0.1	0.085	Umereni	G = G+I = I
	Intezitet	6.797	< 0.001	0.139	Umereni	140 = 130 = 120 < 110
	Interakcija	4.538	< 0.001	0.178	Veliki	
P_{mean}	Komponenta	1.701	> 0.1	0.075	Umereni	G = G+I = I
	Intezitet	1.049	> 0.1	0.024	Mali	110 = 120 = 130 = 140
	Interakcija	1.505	> 0.1	0.067	Umereni	

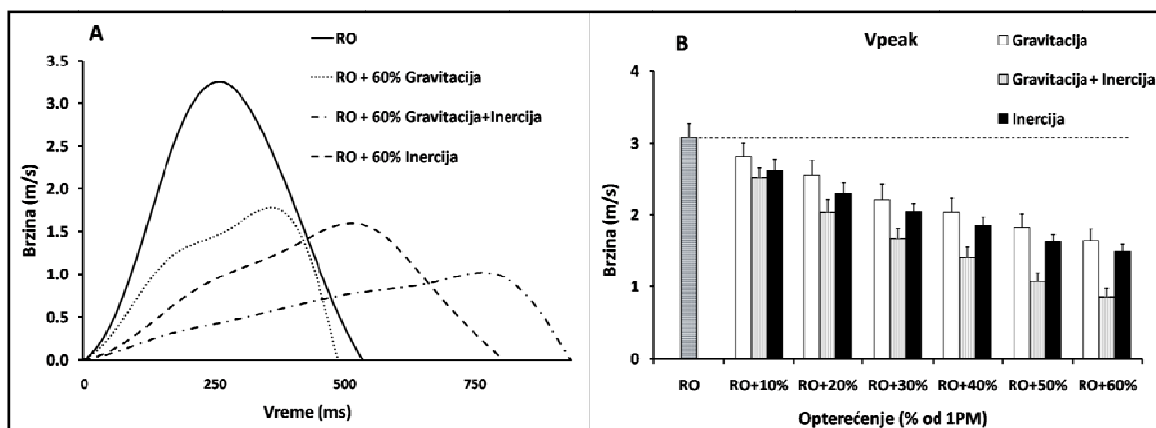
6.2. REZULTATI ISTRAŽIVANJA EFEKATA INERCIONOG I GRAVITACIONOG OPTEREĆENJA NA DINAMIČKA SVOJSTVA MIŠIĆA RUKU

U ovom istraživanju učestvovalo je 15 ispitanika, starih 23.5 godina (± 1.7). Ispitanici su bili visoki 180.9 cm (± 6.9) sa telesnom masom 79.6 kg (± 8.1). Procenat masnog tkiva ispitanika iznosio je 11.1 % (± 5.2).

Maksimalna jačina, testiranih mišića, procenjivana je putem ponavljajućeg maksimuma (1PM) u potisku iz ležećeg položaja na klupi. Dobijeni rezultati (srednja vrednost \pm standardna devijacija) su pokazali da su ispitanici podizali 99.5 ± 6.5 kg, kao maksimalnu težinu (opseg 91.5 - 110 kg). Relativno mali opseg dobijenih rezultata, u testu jačine, opravdava primenu istih opterećenja za sve testirane ispitanike (videti metode). Uzimajući u obzir činjenicu da je 1PM približno 100 kg, kao i to da je veličina referentnog opterećenja (RO) 20 kg, a veličina dodatnih gravitacionih, gravitacionih+inercionih i inercionih opterećenja u rasponu od 0 do 60 kg, može se reći da je ukupno opterećenje u eksperimentu bilo u intervalu od 20% (samo RO) do 80% (RO + 60kg W, W+I ili I komponente opterećenja) u odnosu na jedan ponavljajući maksimum iz ležećeg položaja na klupi (1PM).

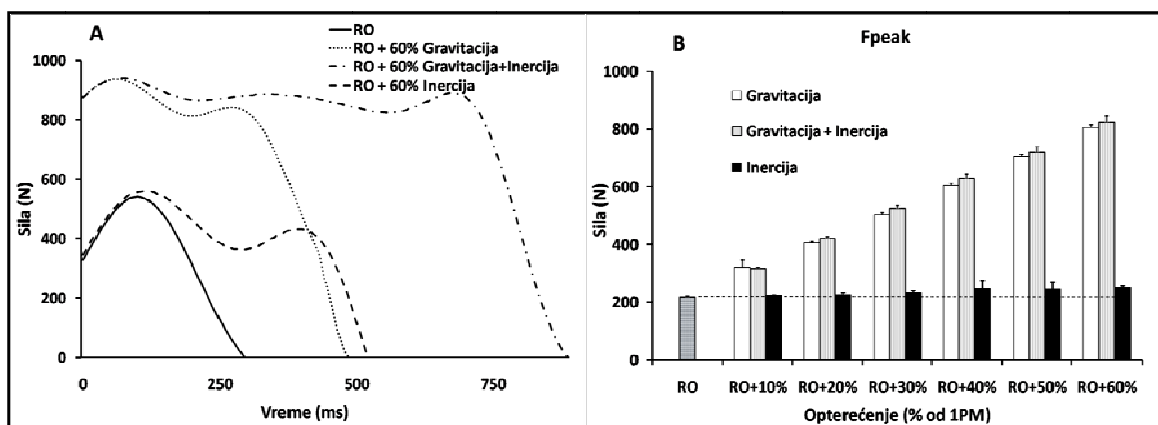
Dobijeni rezultati, testirani pomoću dvofaktorske analize varijanse (faktori su komponenta i veličina primenjivanih opterećenja), pokazali su statističku značajnost glavnih efekata i njihovu interakciju. Rezultati ANOVE i rezultati post-hoc testa prikazani su u Tabeli 3. Vremenski nizovi razvoja brzine, pri opterećenju od 20% i 80% (G, G+I, I) od 1PM, na uzorku reprezentativnog ispitanika, ukazuju na razlike u kinematici pokreta (I_{pk}) u zavisnosti od vrste primenjenog opterećenja (Slika 16A). Signali brzine kretanja počinju u trenutku najniže pozicije šipke a završavaju se u trenutku izbačaja šipke, odnosno u trenutku kada prestaje kontakt između šaka i šipke. Rezultati pokazuju da se najmanje vrednosti brzine pokreta dobijaju kada je primenjeno inerciono i gravitaciono opterećenje istovremeno (RO+60% G+I). Najveća maksimalna brzina dobijena je pri opterećenju gravitacionom komponentom, pri kojem je zabeleženo i najkraće vreme trajanja pokreta ≈ 500 ms. Na slici 16B prikazani su i rezultati razvoja brzine izbačaja u odnosu na veličine primenjivanih komponenti opterećenja. Rezultati pokazuju da brzina značajno opada sa povećanjem inteziteta opterećenja, a najveći pad brzine povezan je sa istovremenim delovanjem inercione i

gravitacione komponente (62%), dok je gravitaciona komponenta opterećenja najmanje uticala na „obaranje“ brzine izbačaja (42%).



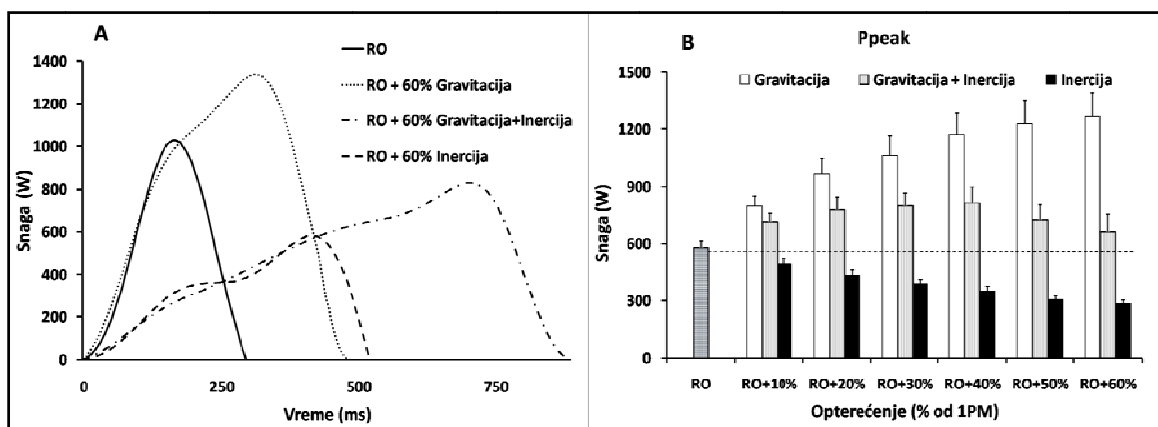
Slika 16. Vremenski nizovi brzine kretanja centra mase pri opterećenju od 20 % od 1PM (RO) i RO+60% od 1PM G, G+I i I (A) i maksimalna brzina kretanja (B) izbačaja iz ležećeg položaja na klupi u zavisnosti od povećanja inteziteta pojedinih komponenti opterećenja (G, G+I, I)

Vremenski intervali razvoja sile prilikom izbačaja pokazuju da se najveće vrednosti dobijaju sa opterećenjima koja sadrže gravitacionu komponentu. Prema tome, RO+60% G+I i RO+60% G su opterećenja koja su uticala na značajno veći razvoj sile tokom pokreta (Slika 17A). Takođe, istovremeno delovanje gravitacionog i inercionog opterećenja omogućilo je održavanje visokog inteziteta sile tokom dužeg vremenskog perioda. Rezultati ANOVE pokazali su da postoje efekti komponente i veličine opterećenja, kao i međusobne interakcije, na maksimalnu silu ostvarenu tokom izbačaja (Tabela 3). Maksimalna sila povećavala se sa porastom veličine opterećenja (Slika 17B). Najveći intezitet sile ostvaren je delovanjem protiv G+I opterećenja (povećanje na 162% od sile RO), dok su nešto niže vrednosti ostvarene kada je primenjivano samo gravitaciono opterećenja (povećanje na 151% od sile RO). Intezitet sile u izbačajima koji su za opterećenje imali inercionu komponentu nije se bitnije menjao, odnosno bio je približno jednak sili u izbačaju sa referentnim opterećenjem.



Slika 17. Vremenski nizovi razvoja sile pri opterećenju od 20 % od 1PM (RO) i RO+60% od 1PM G, G+I i I (A) i maksimalna sila (B) izbačaja iz ležećeg položaja na klupi u zavisnosti od povećanja inteziteta pojedinih komponenti opterećenja (G, G+I, I)

Rezultati maksimalne generisane snage tokom izbačaja, kao osnovne determinante maksimalnog dinamičkog izlaza, ukazuju na dijametralno različite performanse mišića ruku u zavisnosti od primenjivanih komponenti opterećenja. Vremenski intervali razvoja snage, pri referentnom opterećenju i maksimalnim intezitetima pridodatih G, G+I i I komponenti opterećenja, pokazuju da se znatno veća maksimalna snaga razvija protiv gravitacionog opterećenja (Slika 18A). Maksimalna snaga, sa povećanjem inteziteta gravitacione komponente opterećenja (80% od 1PM) povećana je za 59% (od snage pri RO opterećenju), dok je maksimalna snaga opala sa povećanjem inercionog opterećenja (80% od 1PM) za 42%. Porast gravitacionog i inercionog opterećenja, istovremeno, uticao je na rast maksimalne snage do inteziteta od 50-60% od 1 ponavljajućeg maksimuma, a zatim je zabeležen pad (Slika 18B). Rezultati ANOVE pokazali su da postoje efekti komponenti i veličine opterećenja, kao i međusobne interakcije, na maksimalnu snagu ostvarenu tokom izbačaja (Tabela 3).



Slika 18. Vremenski nizovi generisanja snage pri opterećenju od 20 % od 1PM (RO) i RO+60% od 1PM G, G+I i I (A) i maksimalna snaga (B) izbačaja iz ležećeg položaja na klupi u zavisnosti od povećanja inteziteta pojedinih komponenti opterećenja (G, G+I, I)

Tabela 3. Glavni efekti komponenti opterećenja, inteziteta opterećenja i njihove interakcije na zavisne varijable, maksimalnog izbačaja iz ležećeg položaja na klupi, procenjivani kroz njihovu statističku značajnost i odgovarajući efekat veličine.

Varijable	ANOVAs	F	Main Effect p - level	Effect size $p \eta^2$	Effect size descriptor	Post hoc *
V_{peak}	Komponenta	56.44	< 0.001	0.813	Veliki	G+I < I < G 10 > 20 > 30 > 40 > 50 > 60
	Intezitet	3734.81	< 0.001	0.997	Veliki	
	Interakcija	52.74	< 0.001	0.802	Veliki	
F_{peak}	Komponenta	7,678.640	< 0.001	0.998	Veliki	I < G < G+I 10 < 20 < 30 < 40 < 50 < 60
	Intezitet	5,479.790	< 0.001	0.998	Veliki	
	Interakcija	767.47	< 0.001	0.983	Veliki	
P_{peak}	Komponenta	308.92	< 0.001	0.96	Veliki	I < G+I < G
	Intezitet	91.03	< 0.001	0.875	Veliki	20 > 60; 30 > 60
	Interakcija	251.72	< 0.001	0.951	Veliki	

7. DISKUSIJA

U realizovanim eksperimentima istraživani su efekti komponenti spoljašnjeg opterećenja na dinamička svojstva mišića ruku i nogu. Komponente opterećenja izolovane su tako što je meren selektivan uticaj gravitacione, inercione i inercione+gravitacione komponente opterećenja. Gravitacija je simulirana dejstvom konstantne sile elastičnih guma na dole (G). Inercija je izolovana tako što se oduzimala gravitaciona komponenta spoljašnjeg opterećenja konstantnom silom elastičnih guma na gore (I). Inerciona i gravitaciona komponenta istovremeno dobijena je jednostavnim dodavanjem tegova (G+I). Uticaj pomenutih komponenti opterećenja ispitivan je na zadacima maksimalnog skoka uvis (SV), maksimalnog skoka uvis iz polučučnja ($SV_{pč}$) i maksimalnog izbačaja iz ležećeg položaja na klupi (I_{lpk}). Odabrani zadaci predstavljaju pokrete sa različitim brojem stepeni slobode, odnosno, kretanja u kojima se obrasci pokreta više ili manje menjaju. Maksimalni skok uvis predstavlja pokret gde se šema izvođenja svakog pokušaja značajno menja, skok uvis iz polučučnja se može definisati kao pokret u kome imamo relativno male izmene u obrascu izvođenja, dok se pokret izbačaja iz ležećeg položaja na klupi izvodi u relativno nepromenjenoj šemi pokreta. Testirani zadaci omogućili su ispitivanje efekata komponenti opterećenja na performanse mišića nogu (SV i $S_{pč}$) i mišića ruku (I_{lpk}). Sem toga, u skokovima se pored dodatnog spoljašnjeg opterećenja delovalo istovremeno i protiv težine sopstvenog tela, dok je kod izbačaja ukupan otpor poticao od spoljašnjeg opterećenja (+ težina ruku).

Dobijeni rezultati, u zadacima SV i $SV_{pč}$, ukazali su na određene efekte uticaja komponenti opterećenja na performanse mišića nogu. Kao što je i bilo očekivano, povećanje inteziteta svih tipova opterećenja dovelo je do redukcije performansi obe vrste skoka. Najviše istaknuti efekti povezani su sa istovremenom primenom gravitacionog i inercionog opterećenja (G+I), dok su najmanji efekti povezani sa gravitacionim opterećenjem (G). Povećanje inercione komponente opterećenja (I) najviše je uticalo na spuštanje centra mase tela u ekscentričnoj fazi skoka (Δh_{ecc}), kao i na produženo trajanje koncentrične faze skoka uvis (T_{conc}). Takođe povećanje inercione komponente opterećenja najviše je uticalo na umereno smanjenje srednje i maksimalne snage u koncentričnoj fazi skoka (P_{mean} , P_{peak}). Povećanje gravitacione komponente opterećenja u najmanjoj meri je uticalo na maksimalni dinamički izlaz pri izvođenju

odabranih skokova, tako što su P_{mean} i P_{peak} ostajale nepromenjene sa porastom inteziteta ove komponente opterećenja. Posmatrajući uticaj različitih komponenti opterećenja na zavisne varijable, dve različite vrste skoka, može se konstatovati da su efekti slični ali ipak značajniji kod maksimalnog skoka uvis u odnosu na skok uvis iz polučučnja. Dakle, selektivna primena komponenti opterećenja imala je veći uticaj na pokret sa većom mogućnosti prilagođavanja (SV). Ovakav nalaz može se obrazložiti ekscentričnom fazom skoka, koja predhodi koncentričnoj u zadatku maksimalnog skoka uvis, gde pojačano delovanje inercione komponente dodatnog opterećenja i opterećenja sopstvenog tela prouzrokuje naglašenije uticaje komponenti opterećenja na zavisne varijable.

Na osnovu postavljenih hipoteza istraživanja, veznih za efekte gravitacione i inercione sile na performanse mišića nogu, a u odnosu na dobijene nalaze, može se konstatovati da je glavna H_g hipoteza potvrđena, dakle inerciona i gravitaciona komponenta opterećenja imale su različit uticaj na kinematičku šemu i maksimalni dinamički izlaz SV i SVpč zadataka. Takođe, na osnovu dobijenih rezultata ovog istraživanja potvrđene su i pomoćne hipoteze H_{g-1} , H_{g-2} i H_{g-3} , kojima je predpostavljeno da će gravitaciona komponenta najmanje uticati na šemu i dinamički izlaz pokreta (H_{g-2}), zatim da će inerciona komponenta produžiti trajanje koncentrične faze skoka i povećati spuštanje centra mase tela (H_{1-3}), kao i da će istovremeno dejstvo obeju komponenti najviše uticati na brzinu pokreta i maksimalnu silu (H_{g-1}).

Uticaj komponenti opterećenja (G, G+I, I) na performanse mišića ruku istraživan je na zadatku izbačaja iz ležećeg položaja na klupi. Rezultati ovog istraživanja pokazali su da postoje efekti tipa opterećenja na kinematičku šemu i maksimalni dinamički izlaz izbačaja, čime je potvrđena i druga osnovna hipoteza (H_{g1}). U odnosu na zadatke SV i Spč efekti gravitacione i inercione sile u zadatku I_{pk} su značajno veći, na osnovu kojih se može preciznije definisati selektivan uticaj komponenti opterećenja na balističke pokrete. U ovom eksperimentu maksimalna brzina izbačaja najviše je smanjena pod uticajem istovremene primene inercione i gravitacione komponente opterećenja (G+I), a najmanje se brzina kretanja menjala sa povećanje gravitacione komponente opterećenja (G). Ovakav nalaz može se obrazložiti istovremenim opterećenjem gravitacionom i inercionom silom, u prvom slučaju, a razlog malih promena u brzini kretanja sa povećanjem gravitacione sile, u odnosu na

inercionu, treba ispitati detaljnijom mehaničkom analizom, kao što je modelovanje odabranog pokreta. Istraživanje Samozino i saradnika (2012) je takođe pokazalo da inerciona sila manje utiče na brzinu skoka u horizontalnom pravcu od inercione i gravitacione sile zajedno na brzinu skoka u vertikalnom pravcu.

Intezitet maksimalne sile reakcije podloge takođe se različito menjao u odnosu na vrstu primenjivanog opterećenja u izbačaju. Pojačan intezitet $G+I$ i G opterećenja uticao je na značajno povećanje maksimalne sile. Ako uzmemo u obzir dobro poznatu relaciju sila-brzina aktivnih mišića, smanjenje brzine pokreta omogućiće generisanje veće mišićne sile, pa prema tome, predhodno diskutovane promenu u brzini pokreta mogu objasniti deo dobijenih efekata kada je maksimalna sila u pitanju.

Efekat brzine pokreta, zajedno sa specifičnim efektom inercije, može takođe objasniti dobijene razlike u maksimalnoj sili vezane za vrstu primenjenog opterećenja. Naime, efekat inercije je proporcionalan ubrzanju koje može biti prilično veliko u početnoj fazi pokreta (Slika 16A). Međutim, tokom narednih faza pokreta opterećenje uglavnom potiče od gravitacione sile, kada su primenjivana $G+I$ i G opterećenja. Prema tome, primena samo inercionog opterećenja omogućiće mišićima da relativno brzo dostignu veliku brzinu pokreta, koja će opet redukovati mogućnost generisanja sile, zbog već pomenutih mišićnih svojstava (relacija sila-brzina). Kao posledica ovakvog uticaja, selektivna primena gravitacije (G) uticala je na značajno povećanje maksimalne snage, dok je inercija (I) dovela do konstantnog opadanja maksimalne snage tokom celog opsega opterećenja pri izbačaju.

Maksimalna snaga pri istovremenoj primeni gravitacione i inercione komponente opterećenja ($G+I$) ostvarena je pri srednjoj vrednosti ukupne veličine opterećenja. Deo objašnjenja efekata komponenti opterećenja na maksimalnu snagu pri izbačaju može se dobiti iz varjabli maksimalne brzine i maksimalne sile, iako se trenutak dostizanja njihovih maksimalnih vrednosti ni blizu ne podudara (za detalja videti slike 16A i 17A). Uzimajući u obzir da se snaga može izračunati kao proizvod sile i brzine pokreta, zbog blagog povećanja maksimalne sile i značajnog opadanja brzine, inerciona komponenta opterećenja izazvala je postepeno smanjenje maksimalne snage tokom čitavog opsega primenjivanog opterećenja u izbačaju.

Ovakvi rezultati su u skladu sa predhodnim istraživanjima, odnosno rezultatima dobijenim iz mehaničkih modela izolovanog mišićno-tetivnog kompleksa (Galantis i

Woledge, 2003), koji ukazuju da opterećenje „čistom“ inercijom samo produžava trajanje izvođenja određenog pokreta, dok negativno utiče na dinamički izlaz. Istraživanja na diskretnim jednozglobnim pokretima, kao što je brz pokret u zglobu lakta, pokazala su da inerciono opterećenje utiče na produženje trajanja pokreta, kao i na povećanje mišićne aktivnosti antagonista ali ne i mišića agonista u vršenju pokreta (Corcos i sar., 1993; Jarić i sar., 1998).

Efekti gravitacionog (G) i gravitacionog+inercionog (G+I) opterećenja daleko su značajniji, budući da su rezultati pokazali značajno povećanje maksimalne snage kada su primenjivane ove vrste opterećenja. Ovakav vid spoljašnjeg otpora se i najčešće koristi u trenažnim i rehabilitacionim procedurama, gde se kao dodatno opterećenje koriste tegovi, elastične trake ili opruge.

Prethodno diskutovani rezultati dobijenih vrednosti maksimalne sile pokazali su da primena gravitacionog (G) i gravitacionog+inercionog (G+I) opterećenja podjednako utiče na porast maksimalne sile. Međutim, primena gravitacionog opterećenja uslovlila je, ne samo veću maksimalnu snagu od G+I opterećenja, nego i različito povećanje snage sa porastom veličine primenjivanih opterećenja. Naime, G+I opterećenje pokazalo je maksimum snage u sredini opsega opterećenja, dok je primenom G opterećenja maksimalna snaga rasla tokom čitavog opsega. Efekat G+I opterećenja, na pokrete maksimalnih podizanja, dosta je istraživan i rezultati uglavnom pokazuju konzistentnost u nalazima (Newton i sar., 1997; Pažin i sar., 2011).

Efekat G opterećenja može da predstavlja novi nalaz u literaturi. Na osnovu dobijenih rezultata može se spekulirati da bi dalje povećanje veličine G opterećenja dovelo do dostizanja maksimalne snage a potom do njenog pada, jer bi se brzina neizbežno smanjila kako bi se intezitet opterećenja približavao ponavljajućem maksimumu (1PM).

Drugo objašnjenje konstantnog porasta maksimalne snage sa povećanjem G opterećenja može biti to što je maksimalan intezitet G opterećenja, koje je primenjivano u ovom istraživanju, možda bilo nešto ispod 80% od 1PM, jer je nedostajala inerciona komponenta koja je delovala kada je vršen test 1PM. Ipak, ova pojava konstantnog povećanja maksimalne snage sa G opterećenjem ostaje da se detaljnije ispita.

Razlike u značajnosti efekata gravitacione i inercione sile na dinamička svojstva mišića ruku i nogu mogu se tražiti u prirodi izvedenih pokreta, ali i intezitetu

primenjivanih opterećenja u dva izvedena eksperimenta. Izbačaj iz ležećeg položaja na klupi, kao što je već rečeno, odvija se u uslovima relativno nepromenjene šeme izvođenja, dok su skokovi pokreti sa većom mogućnosti prilagođavanja. Međutim, osnovnu razliku u dva izvedena eksperimenta predstavljaju veličine primenjivanih spoljašnjih opterećenja. U skokovima, intezitet opterećenja iznosio je 10 - 40% od telesne mase, odnosno približno 35 kg kada je intezitet spoljašnjeg opterećenja bio jednak 40% od telesne mase (za detalje pogledati metode), dok je maksimalan intezitet spoljašnjeg opterećenja u izbačaju iznosio 80 kg (RO+60%1PM). Dakle, neuporedivo veći intezitet spoljašnjeg (pridodatog G, G+I, I) opterećenja primenjivan je u izbačaju.

Konstrukcija sistema za istovremenu i selektivnu primenu komponenti opterećenja, u zadacima skokova, kao i narušavanje tehnike pokreta, nije dozvolila veći intezitet opterećenja, tako da se razlike u efektima inercionog i gravitacionog opterećenja na ova dva zadatka mogu obrazložiti inezitetom primenjivanih opterećenja.

Posmatrano sa metodološkog aspekta, važno je istaći da su ovo prva istraživanja koja ispituju selektivne efekte gravitacione i inercione komponente opterećenja na mehaničku šemu i dinamički izlaz balističkih pokreta. Treba imati na umu da je primenom kovarijacije opterećenja, odnosno tegova i negativnog konstantnog rasterećenja, u cilju izolovanja inercione sile, već ispitivan uticaj ove vrste opterećenja na pokretima koji se realizuju u horizontalnom pravcu (De Witt i sar., 2008; Teunissen i sar., 2007).

Primenjeni metod u ovom istraživanju omogućio je selektivnu i istovremenu primenu i inercione i gravitacione komponente u jednakim intervalima (G, G+I, I). Takođe treba imati u vidu da su u ovim istraživanjima primenjivana opterećenja koja deluju u pravcu u kome se pokret realizuje (skokovi uvis, izbačaj), umesto ortogonalno, kao što je slučaj u hodanju i trčanju, gde manipulacija spoljašnjeg opterećenja izaziva gotovo minorne efekte na mišićnu aktivnost, procenjivanu kroz metabolički utrošak (Teunissen i sar., 2007).

Od velike važnosti je lokacija na kojoj je opterećenje primenjeno, odnosno, u pomenutim istraživanjima opterećenje je bilo locirano u blizini centra mase ispitanika (Chang i sar., 2000; De Witt i sar., 2008; Teunissen i sar., 2007) što je verovatno uticalo na smanjenje promena u šemi pokreta, a što je uglavnom povezano sa primenom opterećenja na ramenima ispitanika (za detalje videti Cronin i Sleivert, 2005).

Uzimajući sve ukupno u obzir, visoku pouzdanost testiranih zavisnih varijabli (Marković i Jarić, 2007) kao i predhodno diskutovana pitanja, može se reći da je opravdan metodološki pristup, koji je primenjen u ovom radu, vezan za ispitivanje efekata gravitacionog i inercionog opterećenja na balističke pokrete, na zadacima maksimalnih skokova uvis i izbačaja iz ležećeg položaja na klupi. Ono što predstavlja nedostatak, a vezano je za maksimalne skokove kao zadatke u testiranjima, je mali opseg primenjivanih inteziteta opterećenja (10-40% od telesne mase).

Empirijski rezultati pokazuju da opterećenja koja su veća od 40% od mase tela značajno menjaju mehaničku šemu izvođenja skoka kod mladih fizičkih aktivnih osoba (Marković i Jarić, 2007; Marković i sar., 2011). Uzimajući u obzir podatak da na redovnim testiranjima mišićne jačine studenata fakulteta, prosečno maksimalno podignuto opterećenje iz čučnja iznosi 120 kg, a da se pri tom suprotstavljaju i sopstvenoj težini tela ($\approx 80\text{kg}$), čini se da primenjeno opterećenje u zadacima SV i $S_{pč}$ (10-40% od telesne mase) odgovara 15 % njihove maksimalne jačine mišića ekstenzora nogu. Dok u zadatku izbačaja opterećenje pri maksimalnom intezitetu odgovara 80% maksimalne jačine mišića ramenog pojasa i ruku. Ovim bi se mogli objasniti relativno slabi efekti tipa opterećenja na performanse mišića nogu i, sa druge strane, značajniji efekti na performanse mišića ruku.

Dobijeni rezultati u drugom eskperimentu, istraživanja uticaja inercionog i gravitacionog opterećenja na performanse mišića ruku, moraju se posmatrati i u odnosu na određene metodološke aspekte. Što se tiče primene opsega opterećenja, treba imati na umu da je izabrana standardna Smit mašina koja mehanički omogućava gotovo savršenu vertikalnu trajektoriju podizanja tega. To verovatno smanjuje mišićni napor u pravcu stabilizacije šipke koja se podiže i time omogućava mišićima da deluju samo protiv opterećenja koja su primenjena. Međutim, korišćena Smit mašina uticala je na relativno veliko referentno opterećenje (RO), koje je bilo ekvivalent 20% od 1PM, na koje su pridodavane G, G+I i I komponente opterećenja. Dakle, moglo bi se reći da je RO opterećenje bilo parazitaran faktor na dobijene rezultate, gde je G+I komponenta referentnog opterećenja bila prisutna u sva tri uslova (G, G+I, I) i na taj način uticala na dobijene rezultate. Prema tome, iz ovog istraživanja ne možemo znati selektivan uticaj inercije i gravitacije na opterećenja manja od 20 % od 1PM. Ipak, ukoliko uzmemo u

obzir to da je šipka, kao objekat, morala da se koristi za izvođenje odabranog zadatka (izbačaj), može se reći da je prisustvo referentnog opterećenja bilo gotovo neizbežno.

U budućim istraživanjima trebalo bi korišćenjem lakših šipki smanjiti referentna opterećenja i na taj način preciznije sagledati željene efekte. Takođe, primena elastičnih guma (G) sa manjom promenom sile u toku amplitude izbačaja može uticati na dobijene rezultate. U tom cilju mogu se koristiti ili duže ili gume sa većim koeficijentom elastičnosti. Druga mogućnost, nedavno korišćena "klizajuća stolica" kojom se neutrališe gravitaciona komponenta opterećenja, može se koristiti u budućim studijama, iako autori nisu razmatrali tu mogućnost (Samozino i sar., 2012). Naime, slično kao u jednozglobnim pokretima u kojima opterećenje predstavlja programirani obrtni motor, koji može simulirati bilo koju vrstu opterećenja (Corcos i sar., 1993; Jarić i sar., 1998), stolica može obezbediti obrazac spoljašnjeg opterećenja koji može da odgovara komponentama opterećenja korišćenim u ovim istraživanjima.

Ovi podaci, zajedno sa EMG snimcima i većim brojem testiranih zadataka u dizanju, mogu da obezbede osnovu za razrađenija biomehanička i istraživanja neuralne kontrole mehanizama, koji dovode do selektivnih efekata inercije i gravitacije na zadatke podizanja (izbačaja).

Analizom dobijenih rezultata, mogu se videti ukupni efekti kao i izdvojeni efekti komponenti opterećenja (G,I). Što se tiče ukupnih efekata primenjenih opterećenja na testirane zadatke, treba imati na umu nekoliko metodoloških razlika koje mogu biti odgovorne za delom nedosledne nalaze u literaturi. Povećanjem inteziteta primenjivanih spoljašnjih opterećenja očekivano je da dođe do izmene u kinematici i kinetici određenih zadataka u cilju maksimalizacije učinka (kao što je brzina pokreta) i mehanički izlaz (kao što je maksimalna snaga, Baker i sar., 2001a,b; Newton i Kraemer, 1994; Wilson i sar., 1993).

Generalno posmatrano, veruje se da generisanje snage u kompleksnim zadacima zavisi od koordinacije pokreta, pre nego od ispoljavanja snage pojednih mišića (Wakeling i sar., 2010). Zabeležene promene u šemi (obrascu) pokreta, u ovom istraživanju, u skladu su sa drugim istraživanjima primene spoljašnjeg opterećenja u vertikalnim skokovima (Marković i Jarić, 2007), zatim kod izbačaja iz ležećeg položaja na klupi (Newton i sar., 1997) i u hodanju (Chang i sar., 2000; De Witt i sar., 2008). Preciznije, u istraživanju uticaja gravitacione i inercione komponente opterećenja na

dinamička svojstva mišića nogu i ruku dobijeni su rezultati koji ukazuju da sa povećanjem gravitacionog opterećenja (G), inercionog opterećenja (I) ili sa povećanjem oba tipa opterećenja istovremeno (G+I) dolazi do smanjenja maksimalne brzine pokreta i povećanja vertikalne komponente sile reakcije podloge (V_{peak} , F_{peak}). Slični efekti dobijeni su u studiji koja je ispitivala uticaj inercione i gravitacione sile na performanse trčanja (Chang i sar., 2000).

Analizirajući rezultate ove studije, prvenstveno u zadacima skokova (SV, $SV_{pč}$), treba imati na umu da je visina skoka proporcionalna kvadratu brzine kretanja, što na neki način objašnjava relativno slabe efekte primenjivanih tipova opterećenja na performanse skokova, merene kroz maksimalnu brzinu. Verovatno bi se značajniji efekti dobili da se uspešnost skoka merila visinom skoka kao standardnom zavisnom varijablom. Kinematički parametri maksimalnog skoka uvis pokazuju da se trajanje koncentrične faze skoka povećavalo sa opterećenjem, ali bez, uopšteno govoreći, povećanja maksimalnog spuštanja tela u ekscentričnoj fazi skoka. Međutim, rezultati predhodnih studija, primene opterećenja na maksimalne skokove, ukazuju da je opterećenje povezano sa smanjenjem spuštanja centra mase u ekscentričnoj fazi skoka (Mrković i Jarić, 2007; Marković i sar., 2011).

Dobijene razlike između predhodnih studija i rezultata ovog istraživanja mogu se povezati sa metodološkim razlikama, naime ova studija ispitivala je uticaje svih komponenti opterećenja na performanse skoka (G, G+I, I), dok su predhodna istraživanja ispitivala uticaj samo gravitacione komponente (G). Takođe, dobijene razlike u najvećoj meri potiču od činjenice da je u predhodnim studijama maksimalni skok vršen bez zamaha ruku.

Dinamički parametri, maksimalnih vertikalnih skokova (SV, $SV_{pč}$), procenjivani su dobijenim vrednostima srednje i maksimalne snage (P_{mean} , P_{peak}). Rezultati ove studije pokazuju da su vrednosti snage opadale sa povećanjem inteziteta opterećenja, posebno maksimalnog skoka uvis. Prema tome, može se reći da su dobijeni rezultati u skladu sa predhodno postavljenom hipotezom maksimalnog dinamičkog izlaza (Jarić i Marković, 2009) prema kojoj je mišićni sistem nogu tako dizajniran da proizvodi najveći dinamički izlaz kada je opterećen samo težinom i inercijom sopstvenog tela (Argus i sar., 2011; Marković i Jarić, 2007; Nuzzo i sar., 2010).

Ono što može biti ograničavajući faktor u donošenju zaključaka o optimalizaciji spoljašnjeg opterećenja jeste činjenica da u ovoj studiji nije primenjivano negativno opterećenje ($<100G$), već samo pojačan intezitet pojedinih komponenti opterećenja. Prema tome, diskutovanje ukupnih efekata spoljašnjeg opterećenja, na maksimalne skokove uvis, bilo bi moguće ako bi se primenio širi opseg spoljašnjeg opterećenja (npr. od negativnog do pozitivnog) na zadacima skokova sa i bez zamahom rukama. U skladu sa problemom ovog istraživanja, efekti smanjene gravitacione i inercione komponente opterećenja na balističke pokrete mogu biti predmet budućih istraživanja.

Najvažniji nalazi ovog istraživanja, uzimajući u obzir činjenicu da je metoda nova, su u vezi sa selektivnim uticajem komponenti opterećenja na performanse mišića ruku i nogu. Ovi efekti se mogu procenjivati kako kroz interakciju tako i kroz dobijeni efekat veličine (za rezultate videti tabele 1, 2 i 3). Posmatrajući efekte na kinematičke i kinetičke parametre skokova (SV i SV_{pe}), može se reći da su selektivni efekti različitih komponenti (tipova) opterećenja relativno slabi. Konkretno, spuštanje centra mase tela u ekscentričnoj fazi skoka uvis bilo je slično u sva tri uslova (G , $G+I$, I), dok su razlike, efekata komponente opterećenja, na trajanje koncentrične faze skoka (T_{conc}) i sili u trenutku prelaska iz ekscentrične u koncentričnu fazu skoka (F_{trp}) bile relativno male. Ipak, veće vrednosti sile u trenutku prelaska iz ekscentrične u koncentričnu fazu skoka i ukupnoj maksimalnoj sili dobijene su istovremenom primenom gravitacionog i inercionog opterećenja ($G+I$). Ovakav nalaz može se objasniti smanjenom brzinom kretanja u uslovu $G+I$ opterećenja, prouzrokovanu dvostrukim opterećenjem, i gravitacijom i inercijom istovremeno (Slika 13; V_{peak}).

Veoma slične rezultate adaptacije aktivnih vertikalnih sila reakcije podloge na pojačan intezitet $G+I$ opterećenja dobile su i studije koje su ovaj problem analizirale na trčanju (Chang i sar., 2000; De Witt i sar., 2008). Prema performansama izvođenih skokova i dobijenog dinamičkog izlaza, najmanje negativan uticaj, na maksimalnu brzinu kretanja (V_{peak}), pa prema tome i na performanse skokova, imala je gravitaciona komponenta opterećenja, dok je najveći uticaj vezan za istovremenu primenu gravitacije i inercije. Prema tome, nije iznenađujuće to što je gravitaciona komponenta opterećenja imala najmanje negativan uticaj na dinamički izlaz, odnosno na srednju i maksimalnu snagu u koncentričnoj fazi skoka (P_{mean} , P_{peak}).

Uzimajući sve ukupno u obzir, može se reći da primenom G+I opterećenja dolazi do povećanja sile reakcije podloge (i verovatno mišićne sile), primena samo gravitacionog opterećenja (G) u najvećoj meri "čuva" obrazac pokreta i njegove performanse i omogućava relativno visok dinamički izlaz. Poslednje pomenuti nalaz je u skladu sa relativno malim izmenama kinematičke šeme pod uticajem rasterećenja, odnosno smanjenog delovanja gravitacione komponente opterećenja (G) u trčanju (Gosseye i sar., 2010).

Interpretacija predhodno diskutovanih selektivnih efekata gravitacionog i inercionog opterećenja na performanse mišića nogu je jednim delom ograničena iz nekoliko razloga. Prvo, razlike između efekata specifičnih za pojedine komponente opterećenja su relativno male čemu je verovatno doprineo mali opseg inteziteta primenjivanih komponenti opterećenja. Drugo, čak i male razlike u kinematičkoj šemi izvođenih skokova mogu značajno uticati na kinetičke i dinamičke varijable maksimalnih skokova uvis (Dugan i sar., 2004).

Takođe, koordinacija pokreta može imati jak uticaj na ukupni mehanički izlaz mišićnog sistema (Wakeling i sar., 2010), pa prema tome, zabeležene promene u performansama skokova i generisanju snage mogu biti rezultat i primene spoljašnjeg opterećenja ali i adaptacije obrasca (šeme) izvođenja skoka. Treće, potrebno je razrađenije i sveobuhvatnije proučavanje mehanizama (kinematičkih, kinetičkih, neuralnih i dr) koji dovode do prilagođavanja različitim vrstama opterećenja i intezitetu pojedinih vrsta opterećenja.

Očigledan teorijski značaj rezultata ovog istraživanja postoji. Jedna od osnovnih, teorijskih, vrednosti jeste mogućnost da se istraži da li postoji nezavisna strategija adaptacije organizma na promene inteziteta gravitacione i inercione sile u zadacima koji se realizuju u vertikalnom pravcu, kao što mogu biti u zadacima hodanja i trčanja (De Witt i sar., 2008). Stoga, buduća istraživanja trebalo bi da otkriju mehanizme uključene u selektivne efekte gravitacione i inercione sile na obrasce izvođenja pokreta koji se realizuju u vertikalnom pravcu.

Pored pomenutih nedostataka, u smislu generalizacije dobijenih rezultata, ovim istraživanjima dobijeni su nalazi od potencijalne važnosti za optimalizaciju opterećenja u različitim procedurama treninga snage i procesa rehabilitacije. Konkretno, primena opterećenja konstantnom silom koja deluje u jednom pravcu, nezavisno od ubrzanja i

brzine pokreta (kao što su u ovom istraživanju elastične gume oponašale promene gravitacionog opterećenja) može biti koristan metod treninga. Na taj način, izabrano bi se opterećenje koje će najmanje narušiti tehniku pokreta i uticati na njegove performanse, a omogućiti će se relativno visoko ispoljavanje mišićne snage.

Međutim, treba imati na umu da opterećenje segmenata tela, zajedno sa spoljašnjim otporom, koji pruža istovremeno delovanje i gravitacione i inercione sile (kao što je u rutinskoj primeni tegova) može dovesti do povećanja mišićne sile. U skladu sa podacima dobijenim iz mehaničkog modela izolovanog mišićno-vezivnog kompleksa (Galantis i Woledge, 2003), dodavanje samo inercione komponente opterećenja (I) produžava trajanje određenog pokreta, dok je najmanje korisna vrsta opterećenja za ispoljavanje snage.

Prema tome, rezultati dobijeni ovim istraživanjem ukazuju da problem koji je istraživan u ovoj studiji mora biti proširen istraživanjima optimalizacije opterećenja u treningu i u procesu rehabilitacije.

8. ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir činjenicu da do sada nije bilo saznanja o selektivnim efektima inercione i gravitacione komponente opterećenja na balističke pokrete, može se reći da je definisanje problema ovog istraživanja novo poglavlje u optimalizaciji primene opterećenja u treningu, rehabilitaciji, prevenciji i dr.

Istraživanja efekata gravitacione i inercione komponente opterećenja na dinamička svojstva mišića nogu i ruku realizovana su primenom nove metode za selektivnu i istovremenu primenu gravitacione i inercione komponente opterećenja. U odnosu na dosadašnje studije koje su se bavile opterećenjem u treningu snage, ovo istraživanje realizovano je na zadacima koji se realizuju u vertikalnom pravcu, čime je zadovoljena neophodna kolinearnost sila. Takođe, posmatrani su ukupni i selektivni efekti obe komponente opterećenja na zadatke maksimalnih vertikalnih skokova (performanse mišića nogu) i maksimalnog izbačaja iz ležećeg položaja na klupi (performanse mišića ruku i ramenog pojasa).

Dobijeni rezultati istraživanja efekata komponenti opterećenja na dinamička svojstva mišića nogu pokazali su da sa povećanjem veličine opterećenja dolazi do porasta vertikalne komponente sile reakcije podloge i smanjenja performansi skoka i mišićne snage. Međutim, značajniji su nalazi prema kojima G, G+I i I opterećenja različito utiču na performanse skokova, iako je opseg primenjivanih opterećenja bio relativno mali.

Povećanje inteziteta gravitacione komponente opterećenja povezano je sa najmanjim izmenama u kinematičkoj šemi skoka i najmanjom redukcijom performansi skoka, omogućavajući istovremeno i najveći dinamički izlaz. Dok su najniže vrednosti sile i maksimalne snage u izvođenju skokova zabeleženi u situacijama povećanja inercione komponente opterećenja (I).

Analizom uticaja komponenti opterećenja na performanse skokova sa i bez mogućnosti prilagođavanja, posmatrane kroz zadatke skoka uvis i skoka uvis iz polučunja, možemo zaključiti da su efekti tipa opterećenja znatno manji kod skoka iz polučunja, dakle u pokretu bez mogućnosti prilagođavanja. Takođe, ovim istraživanjem potvrđeni su nalazi predhodnih studija prema kojima je sistem čoveka tako dizajniran da ispoljava maksimalnu snagu mišića u zadacima skoka uvis u

uslovima kada nema spoljašnjeg opterećenja, odnosno, kada opterećenje predstavljaju masa i inercija sopstvenog tela.

U drugom eksperimentu, koji se bavi istim problemom na zadatku izbačaja iz ležećeg položaja na klupi, efekti komponenti opterećenja (G, G+I, I) sagledani su kada se u potpunosti deluje protiv spoljašnjeg opterećenja. Takođe, ovaj zadatak omogućio je primenu opterećenja sa znatno većim opsegom. Dobijeni rezultati otkrili su značajnije efekte gravitacione i inercione komponente opterećenja na performanse izbačaja u odnosu na dobijene efekte u skokovima. Gravitaciona komponenta opterećenja (G) povezana je sa najmanjim opadanjem brzine pokreta (V_{peak}) i najvećim povećanjem maksimalne snage (P_{peak}). Istovremena primena gravitacionog i inercionog opterećenja (G+I) dovela je do značajnog smanjenja maksimalne brzine, dok je maksimalna snaga zabeležena u srednjim intervalima veličine opterećenja. Selektivna primena inercione komponente opterećenja (I) pokazala je relativno niske vrednosti maksimalne sile i postepeno opadanje maksimalne snage. Dakle, efekti tipa opterećenja na performanse mišića ruku bili su značajnije izraženi u odnosu na performanse mišića nogu.

Uzimajući sve u obzir, problem koji je analiziran ima značaj i sa teorijskog i sa praktičnog stanovišta. Teorijska vrednost nalaza ovog istraživanja ogleda se u razumevanju fundamentalnih karakteristika i mogućnosti neuromuskularnog sistema čoveka i njegove adaptacije. Dakle, sa teorijske strane problem istraživanja je fundamentalnog karaktera i bavi se prirodom odgovora lokomotornog aparata na prirodne sile koje permanentno deluju na čoveka u svakodnevnim aktivnostima. Praktična vrednost razumevanja uticaja pojedinih komponenti opterećenja na performanse kompleksnih zadataka, ogleda se u pravcu dobijanja korisnih informacija povezanih sa optimalizacijom u različitim trenažnim i rehabilitacionim procedurama, što nedvosmisleno ukazuje na potrebu daljih istraživanja u ovom polju.

Dobijeni rezultati govore u prilog primene opterećenja koje potiče od gravitacione komponente (kao što su elastične gume ili elastične opruge, u odnosu na najčešće korišćena opterećenja tegovima (podjednak uticaj G i I komponente), jer će se na taj način obezbediti sličan intezitet sile, ali sa većom brzinom izvođenja pokreta. Dakle, primena isključivo gravitacionog opterećenja može obezbediti i veliku brzinu pokreta i visok dinamički izlaz mišića.

U cilju preciznijeg razumevanja neromuskularnog sistema i njegove adaptacije na sile i opterećenja sa kojima dolazi u neposredan kontakt, potrebno je uraditi istraživanja i na ostalim vrstama vertikalnih skokova, kao i drugim eksplozivnim pokretima koji se realizuju u vertikalnom pravcu. Takođe, potrebno je uporediti uticaj komponenti opterećenja na maksimalni skok uvis sa i bez zamaha rukama, izbačaj iz ležećeg položaja na klupi sa i bez mogućnosti prilagođavanja (sa trenažerom ili bez). Konačno, potrebno je sveobuhvatnom procenom kinematičkih, kinetičkih i mioelektričnih parametara tražiti odgovor o neuralnoj kontroli mehanizama koji dovode do prilagođavanja šeme i performansi pokreta različitim vrstama opterećenja.

Takođe, studija adaptacije neuromišićnog aparata na određenu vrstu opterećenja, u dužem vremenskom periodu (trening) u mnogome bi pomogla kada je u pitanju optimalizacija trenažnih i rehabilitacionih procedura.

9. LITERATURA

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. Bevan HR, Bunce PJ, Owen NJ, Bennett MA, Cook CJ, Cunningham DJ, Newton RU, Kilduff LP. Optimal loading for the development of peak power output in professional rugby players. *J Strength Cond Res* 2010;24(1):43-7
6. 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
7. 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
8. 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
9. Cormie P, Deane R, McBride JM. Methodological concerns for determining power output in the jump squat. *J Strength Cond Res* 2007a;21(2):424-30
10. 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
11. Cormie P, McCaulley GO, Triplett NT, McBride JM. Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med Sci Sports Exerc* 2007c;39(2):340-9

12. 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
13. 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
14. 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
15. Cronin J, Sleivert G. Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Med* 2005;35(3):213-34
16. 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
17. Driss T, Vandewalle H, Quievre J, Miller C, Monod H. Effects of external loading on power output in a squat jump on a force platform: a comparison between strength and power athletes and sedentary individuals. *J Sports Sci* 2001;19(2):99-105
18. Dugan EL, Doyle TL, Humphries B, Hasson CJ, Newton RU. Determining the optimal load for jump squats: a review of methods and calculations. *J Strength Cond Res* 2004;18(3):668-74
19. Frost DM, Cronin J, Newton RU. A biomechanical evaluation of resistance: fundamental concepts for training and sports performance. *Sports Med* 2010;40(4):303-26
20. 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
21. 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
22. Griffin TM, Tolani NA, Kram R. Walking in simulated reduced gravity: mechanical energy fluctuations and exchange. *J Appl Physiol* 1999;86(1):383-90

23. Harris NK, Cronin JB, Hopkins WG. Power outputs of a machine squat-jump across a spectrum of loads. *J Strength Cond Res* 2007;21(4):1260-4
24. Hay J, Andrews J, Vaughan C, Ueya K. Load, speed, and equipment effects in strength-training exercises. In: Matsui H, Kobayashi K (eds). *Biomechanics VIII-B. Human Kinetics*, Champaign, IL, 1983: 939-950
25. Israetel MA, McBride JM, Nuzzo JL, Skinner JW, Dayne AM. Kinetic and kinematic differences between squats performed with and without elastic bands. *J Strength Cond Res* 2010;24(1):190-4
26. Jakubiak N, Saunders DH. The feasibility and efficacy of elastic resistance training for improving the velocity of the Olympic Taekwondo turning kick. *J Strength Cond Res* 2008;22(4):1194-7
27. 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
28. Jaric S. Changes in movement symmetry associated with strengthening and fatigue of agonist and antagonist muscles. *J Mot Behav* 2000;32(1):9-15
29. Jaric S, Markovic G. Leg muscles design: the maximum dynamic output hypothesis. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41(4):780-7
30. Kellis E, Arambatzi F, Papadopoulos C. Effects of load on ground reaction force and lower limb kinematics during concentric squats. *J Sports Sci* 2005; 23: 1045-1055
31. Leontijevic B, Pazin N, Bozic P, Kukolj M, Ugarkovic D, Jaric S. Effects of loading on maximum vertical jumps: Selective effects of weight and inertia. *J Electromyogr Kinesiol* 2012;22:286–293
32. Lund RJ, Dolny DG, Browder KD. Optimal loading during two different leg-press movements in female rowers. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(1):148-54
33. Markovic G, Jaric S. Positive and negative loading and mechanical output in maximum vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39(10):1757-64
34. 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
35. 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

36. Myer, G.D., et al., The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes. *J Strength Cond Res*, 2006. 20(2): p. 345-53.
37. McMahon TA. *Muscles, reflexes, and locomotion*. Princeton: Princeton University Press, 1984
38. Newton RU, Kraemer WJ. Developing explosive muscular power: implications for a mixed methods training strategy. *Strength Cond J* 1994;16(20-31)
39. Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ, Wilson GJ, Kraemer WJ, Hakkinen K. Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997;75(4):333-42
40. Neeter, C., et al., Development of a strength test battery for evaluating leg muscle power after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2006. 14(6): p. 571-80.
41. Nuzzo JL, McBride JM, Dayne AM, Israel 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
42. Norton K, Marfell-Jones M, Whittingham N, Kerr D, Carter L, Saddington K, Gore C. *Anthropometric Assessment Protocols*. In: Gore SJ, editor. *Physiological Tests for Elite Athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2000: 66-85.
43. Pazin N, Bozic P, Berjan B, Nedeljkovic A, Jaric S. Optimum loading for maximizing muscle power output: the effect of training history. *Eur J Appl Physiol* 2011; 111: 2123-2130
44. Pearl B, Moran GT. *Trening s utezima*. Zagreb: Gopal, 2009
45. 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
46. Stone MH, O'Bryant HS, McCoy L, Coglianese R, Lehmkuhl M, Schilling B. Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *J Strength Cond Res* 2003;17(1):140-7

47. 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
48. 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
49. Wakeling JM, Blake OM, Chan HK. Muscle coordination is key to the power output and mechanical efficiency of limb movements. *J Exp Biol* 2010;213 (3):487-92
50. 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
51. 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
52. Zatsiorsky V, Kraemer W. *Nauka i praksa u treningu snage*. Beograd: Data status, 2009.

10. PRILOZI

Prilog 1.

Journal of Electromyography and Kinesiology 22 (2012) 286–293



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Journal of Electromyography and Kinesiology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jelekin

Effects of loading on maximum vertical jumps: Selective effects of weight and inertia

Bojan Leontijević^a, Nemanja Pazin^a, Predrag R. Bozic^{a,b}, Milos Kukolj^a, Dusan Ugarkovic^a, Slobodan Jaric^{c,*}^aThe Research Center, Faculty of Sports and Physical Education, University of Belgrade, Belgrade, Serbia^bSerbian Institute of Sport, Belgrade, Serbia^cDepartment of Kinesiology and Applied Physiology, University of Delaware, Newark, DE, USA

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 June 2011

Received in revised form 26 November 2011

Accepted 2 December 2011

Keywords:

Force

Power

Performance

Pattern

Countermovement jump

ABSTRACT

A novel loading method was applied to explore selective effects of externally added weight (W), weight and inertia ($W+I$), and inertia (I) on maximum counter-movement jumps (CMJ) performed with arm swing. Externally applied extended rubber bands and/or loaded vest added W , $W+I$, and I corresponding to 10–40% of subjects' body mass. As expected, an increase in magnitude of all types of load was associated with an increase in ground reaction forces (GRF), as well as with a decrease in both the jumping performance and power output. However, of more importance could be that discernible differences among the effects of W , $W+I$, and I were recorded despite a relatively narrow loading range. In particular, an increase in W was associated with the minimal changes in movement kinematic pattern and smallest reduction of jumping performance, while also allowing for the highest power output. Conversely, $W+I$ was associated with the highest ground reaction forces. Finally, the lowest maxima of GRF and power were associated with I . Although further research is apparently needed, the obtained finding could be of potential importance not only for understanding fundamental properties of the neuromuscular system, but also for optimization of loading in standard athletic training and rehabilitation procedures.

© 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

In general, the muscular system is loaded by the weight (W) and inertia (I) of its own body segments, but sometimes also by the loads and other external forces acting upon it. While the direction of I force is determined by the direction of acceleration in the 3-dimensional space, the direction of the acting W is always vertical. Therefore, the lines of action of W and I forces are collinear only when human body (together with occasionally added external load) accelerates in vertical direction, such as in vertical jumps. As a consequence, the scalar equation that represents the vertical component of the ground reaction force (GRF) exerted over time t during vertical jumping is:

$$\text{GRF}(t) = m[g + a(t)], \quad (1)$$

where m is the body mass, g is gravity acceleration, and $a(t)$ acceleration of the body in upward direction. Note that the product of m

and g corresponds to the body weight ($W = mg$) which is constant over time, while the product of m and $a(t)$ corresponds to the inertial force [$I(t) = m a(t)$] which changes over time depending upon the body acceleration. The same equation also applies to the vertical component of the external force acting upon other body movements performed in other directions. In general, the movements performed predominantly in the vertical direction, such as vertical jumps, seem to be predominantly affected by W , whereas walking and running is predominantly loaded by limb I (i.e., resistance to acceleration and deceleration of the limbs; McMahon, 1984; Teunissen et al., 2007).

It is well known that manipulation of external weights inevitably affects the kinematic and kinetic pattern, dynamic output (e.g., power and momentum), as well as the overall efficiency of the muscular system (Cormie et al., 2011a,b; Frost et al., 2010). However, it still remains unclear whether and to which extent the particular components of external loads (i.e., W and I) have selective effect on the aforementioned variables in complex human movements. A number of previous studies have been focused upon the optimum loading regarding the minimization of the energy expenditure (Teunissen et al., 2007) and maximization of output (Bevan et al., 2010; Cormie et al., 2007c; Lund et al., 2004; Markovic and Jaric, 2007; Nuzzo et al., 2010). Manipulation of external constant force in vertical direction that mimics change in W allowed for

* Corresponding author. Address: Rust Arena, Rm. 143, University of Delaware, 541 South College Avenue, Newark, DE 19716, USA. Tel.: +1 302 8316174; fax: +1 302 8313693.

E-mail address: jaric@udel.edu (S. Jaric).

Prilog 2

IJSM/2562/7.5.2012/Macmillan

Orthopedics & Biomechanics

Selective Effects of Weight and Inertia on Maximum Lifting

Authors

B. Leontijević¹, N. Pazin¹, M. Kukolj¹, D. Ugarkovic¹, S. Jaric²

Affiliations

¹Faculty of Sport and Physical Education, The Research Center, Belgrade, Serbia²Kinesiology and Applied Physiology, University of Delaware, Newark, United States

Key words

- load
- muscle
- velocity
- force
- power

Abstract

▼
A novel loading method (loading ranged from 20% to 80% of 1RM) was applied to explore the selective effects of externally added simulated weight (exerted by stretched rubber bands pulling downward), weight+inertia (external weights added), and inertia (covariation of the weights and the rubber bands pulling upward) on maximum bench press throws. 14 skilled participants revealed a load associated decrease in peak velocity that was the least associated with an increase in weight (42%) and the most associated with weight+inertia (66%). However, the peak lifting force increased markedly with an increase in both weight (151%) and weight+inertia (160%),

but not with inertia (13%). As a consequence, the peak power output increased most with weight (59%), weight+inertia revealed a maximum at intermediate loads (23%), while inertia was associated with a gradual decrease in the peak power output (42%). The obtained findings could be of importance for our understanding of mechanical properties of human muscular system when acting against different types of external resistance. Regarding the possible application in standard athletic training and rehabilitation procedures, the results speak in favor of applying extended elastic bands which provide higher movement velocity and muscle power output than the usually applied weights.

Introduction

▼
During lifting exercises the muscular system is loaded by weight (W) and inertia (I) of both the added external load and its own body segments. If the lifting movement is performed in vertical direction (such as in loaded vertical jumps or bench press) these 2 forces are approximately collinear and the total force equals:

$$F(t) = m [g + a(t)], \text{ (eq. 1)}$$

where m is the sum of the corresponding masses of the involved body segments and the lifted load, g is the gravity acceleration, while $a(t)$ represents acceleration in upward direction. Note that the product of m and g corresponds to the weight ($W = m g$) which is constant over time, while the product of m and $a(t)$ corresponds to the inertial force [$I(t) = m a(t)$] which changes over time depending upon the acceleration.

Manipulation of externally carried load is known to affect the lifting kinematic and kinetic pattern, the associated dynamic output (e.g., power and momentum), as well as the overall efficiency of

the muscular system [8,9,12]. A number of previous studies have been focused upon the optimum loading regarding the minimization of the energy expenditure [32] and maximization of dynamic output [2,7,24,25,29]. However, note that virtually all studies have been based on addition of external weights that inevitably increase both W and I . Regarding the above mentioned selective effects of W and I of the externally applied loads, only the effects of a constant external force exerted in vertical direction has been explored. That force apparently mimics a change in W [26]; see also eq.1, but not I . Regarding other complex human movements, only the horizontal walking and running have been explored regarding the selective effects of W on movement kinematic and kinetic patterns and the results were rather inconclusive [4,11,32]. Finally, note that excluding some motor control studies typically performed on single-joint movement [5,20], the effects of solely I on movement kinematic and dynamic patterns have not been explored. The results obtained from the single-joint movements mainly revealed a I associated extension of the acceleration phase, as

accepted after revision
April 02, 2012

Bibliography

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0032-1312606>
Int J Sports Med 2012; 33:
1-7 © Georg Thieme
Verlag KG Stuttgart · New York
ISSN 0172-4622

Correspondence

Dr. Slobodan Jaric
Health, Nutrition, and Exercise
Sciences
University of Delaware
541S. College Ave.
19716 Newark
United States
Tel.: +1/302/831 6174
Fax: +1/302/831 3693
jaric@udel.edu

Prilog 3.

Изјава о ауторству

Потписани-а _____ Бојан Леонтијевић _____

Број индекса _____ 8-ДС/2009 _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Ефекти инерционог и гравитационог оптерећења на балистичке покрете“

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, _____

Prilog 4.

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије
докторског рада**

Име и презиме аутора Бојан Леонтијевић Број индекса 8-ДС/2009 Студијски програм Експерименталне методе истраживања хумане
локомоцијје Наслов рада “Ефекти инерционог и гравитационог оптерећења на
балистичке покрете“ Ментор Ред. проф. др Милош Кукољ Потписани Бојан Леонтијевић

изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, _____

Prilog 5.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„Ефекти инерционог и гравитационог оптерећења на балистичке покрете“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, _____

11. BIOGRAFIJA AUTORA

Bojan Leontijević je rođen 25. 12. 1979. godine u Parizu (Francuska). Osnovnu i srednju školu završio je u Gornjem Milanovcu (1994;1998). Studije na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu upisao je školske 1998/1999. godine. Diplomirao je 2005. godine na osnovnim akademskim sudijama, a 2009. godine na diplomskim akademskim studijama (Master) sa ukupnom prosečnom ocenom 8,99. Diplomski rad na temu „Rezervni igrači u funkciji taktike, strategije i rezultata savremenog fudbala“ i master rad na temu „Analiza primene osnovnih udaraca u fudbalu u zavisnosti od pozicije igrača u timu“ ocenjeni su ocenom 10.

Doktorske akademske studije na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja upisao je 2009. godine - studijski program „Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije“ i sa uspehom položio sve ispite predviđene planom i programom.

Na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu, zaposlen je od 2006. godine kao saradnik u nastavi, uža naučna oblast teorija i tehnologija sporta i fizičkog vaspitanja, predmet Teorija i metodika fudbala, a od 2010. godine radi kao asistent.

U okviru stručnog usavršavanja boravio je (2006) na Nacionalnoj sportskoj akademiji „Vassil Levski“ u Sofiji (Bugarska), kao i na Institutu za sport Olimpijskog komiteta Italije (CONI Servizi) u Rimu (2007).

Aktivno se bavio fudbalom od 1989 do 1999. godine, nastupajući za sve uzrasne kategorije FK “Takovo” iz Gornjeg Milanovca. Nakon perioda aktivnog igranja, uporedo sa obrazovanjem na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja, radio je kao trener u fudbalskim klubovima različitog ranga takmičenja (od 2004. godine). Od 2011 do 2012. godine bio je član stručnog štaba omladinske reprezentacije Fudbalskog Saveza Srbije (U19).

Kao prvi trener radio je nekoliko seniorskih ekipa: FK “Srem”, FK “Belasica (Bugarska), FK “Bežanija”, FK “Voždovac”, FK “OFK Beograd”.

Do sada je, kao autor i koautor, objavio oko 30 stručnih i naučno-istraživački radova u domaćim i stranim časopisima. Objavljeni radovi uglavnom se bave analizom takmičarske aktivnosti u fudbalu, vršenih u cilju iznalaženja uslova i zakonomernosti od kojih zavisi efikasnost igre. Jedan deo radova odnosi se na motoričke sposobnosti

sportista različitog uzrasta i nivoa takmičenja, odnosno na praćenje efekata gravitacione i inercione komponente opterećenja na ispoljavanje snage u balističkim pokretima. Rad *Effects of loading on maximum vertical jumps: Selective effects of weight and inertia* objavljen je u međunarodnom časopisu *Journal of Electromyography and Kinesiology* (2012), a rad *Selective Effects of Weight and Inertia on Maximum Lifting* je uslovno prihvaćen za objavljivanje u časopisu *International Journal of Sports Medicine* (2012). Časopisi spadaju među najrenomiranije i najcitiranije u oblasti sportskih nauka (M21) a kandidat je u oba rada prvi autor.

Sem objavljenih radova, Bojan Leontijević je učestvovao sa saopštenjima na 10 naučnih skupova sa međunarodnim pozivom. Takođe, kao koautor objavio je tri publikacije sa recenzijom: *Teorija i praksa fudbala: praktikum* (2007); *Teorija i metodika fudbala: praktikum* (2007) i *Pravila fudbalske igre* (2007).

Pored redovnih, nastavnih, aktivnosti na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja, Bojan Leontijević je ima aktivno učešće u nekoliko katedarskih projekata koji povezuju struku i nauku i afirmišu vrednosti fakulteta u stručnoj fudbalskoj javnosti: *Fudbalski skauting tim DIF*; *Fudbalski trening DIF*; stručni časopis „Fudbalski kod“.