

# RELACIJE TJELESNE MASE I MAKSIMALNE SILE MUSKULATURE NOGU RELATIONS BETWEEN BODY MASS AND MAXIMUM FORCE OF THE LEG MUSCLES

BORKO PETROVIĆ<sup>1</sup>, ALEKSANDAR KUKRIĆ<sup>1</sup>, BOJAN GUZINA<sup>1</sup>, RATKO PAVLOVIĆ<sup>2</sup>, LAZAR VULIN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fakultet fizičkog vaspitanja i sporta Univerziteta u Banjoj Luci, Bosna i Hercegovina

<sup>2</sup>Fakultet fizičkog vaspitanja i sporta Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Bosna i Hercegovina

<sup>3</sup>Osnovna škola «Josif Pančić» Oštra Luka, Bosna i Hercegovina

**Sažetak:** Na uzorku od dvadeset i četiri (N=24) studenta prve godine Fakulteta fizičkog vaspitanja i sporta Univerziteta u Banjoj Luci, sprovedeno je transferzalno istraživanje s ciljem da se istraži povezanost mase tijela, kao reprezentiva tjelesnih dimenzija, sa ispoljavanjem maksimalne sile muskulature nogu. U ovom istraživanju eksperimentalni pristup u određivanju alometrijskog eksponenta, za testove kojima se procjenjuje maksimalna sila muskulature nogu (Čučanj 80°  $b=0.78$ , čučanj 110°  $b=0.88$ , čučanj 140°  $b=1.06$ , čučanj 1RM  $b=0.62$ ), obezbjeđuje rezultate približne teorijski predviđenim.  $b=0.67$  ukoliko se rezultati testova normalizuju masom tijela ( $m$ ). Tako da ispoljavanje maksimalne sile muskulature nogu zavisi od tjelesnih dimenzija, prije svega od tjelesne mase, i da bi se dobila relativna sila (jačina) ispitnika rezultate mjerenja maksimalne sile muskulature nogu treba dijeliti sa masom tijela stepenovanom alometrijskim eksponentom.

**Ključne riječi:** mišićna sila, tjelesna masa, alometrijski eksponent, skaliranje.

**Abstract:** A transversal study was carried out on a sample of twenty-four (N = 24) first year student of the Faculty of Physical Education and Sport at the University of Banja Luka aimed to investigate the association of body mass, as a representative of body dimensions, presentation of maximum force with the leg muscles. In this study, an experimental approach to determining allometric exponent, for tests which assesses the maximum force of the leg muscles (squat 80°  $b=0.78$ , squat 110°  $b=0.88$ , squat 140°  $b=1.06$ , squat 1RM  $b=0.62$ ), provides an approximate theoretical results predicted.  $b = 0.67$  if the test results normal body mass ( $m$ ). So the expression of muscle leg maximal force depends on the physical dimensions, especially the physical masses, and to obtain relative force (strength) of respondents the results of measurements of maximum force to the leg muscles shared with body mass graduated allometric exponent.

**Keywords:** muscle force, body mass, allometric exponent, scaling.

## Uvod

Uticaji tjelesnih dimenzija na ispoljavanje motoričkih sposobnosti nazivaju se efektima skale, a dovođenje neke mehaničke veličine, koja opisuje kretanje, u vezi sa određenim dimenzijama tijela naziva se skaliranje (Jarić 1997). Metod alometrijskog skaliranja zasniva se na primjeni jednačine  $S = a \cdot m^b$ . Primjenom regresione analize, metodom najmanjih kvadrata izračunavaju se vrijednosti parametara  $a$  i  $b$ , čime se konačno određuje povezanost motoričkih sposobnosti i tjelesnih dimenzija. Primijenjenom jednačinom, svaka motorička sposobnost ( $S$ ) može se predstaviti kao funkcija tjelesnih dimenzija ( $m$ ), gdje je  $a$  konstantni množilac, a  $b$  alometrijski eksponent.

Iako su naučnici decenijama proučavali ovaj fenomen (Hill 1950; McMahon 1984; Schmidt-Nielsen 1984), pregledni članci Jarića iz 2002. i 2003. godine pokazuju da se uticaj tjelesnih dimenzija na rezultate testova motoričkih sposobnosti često zanemaruje, odnosno da normalizacija rezultata mjerenja nije adekvatna ili da čak i ne postoji. Kao posljedica takvog pristupa istraživanju dobijeni rezultati zavisi su od tjelesnih dimenzija. Prilikom normalizacije rezultata, u obzir treba uzeti i pretpostavku, koja je novijim istraživanjima potvrđena, a koja ukazuje na različit uticaj tjelesnih dimenzija na rezultate pojedinih motoričkih testova (Jarić, Radosavljević-Jari i sar. 2002; Jarić 2003; Marković i Jarić 2004). U okviru teorijskog pristupa u normalizaciji motoričkih sposobnosti u odnosu na tjelesne dimenzije, polazi se od pretpostavke da su sva ljudska bića geometrijski slična, odnosno da imaju uglavnom isti oblik, a da se razlikuju samo u dimenzijama (Hill 1950; Astrand i Rodahl 1986). Na osnovu te pretpostavke, očekuje se da će

kod dvije geometrijski slične i kvalitativno identične osobe, sve dužinske dimenzije tijela ( $L$ ) biti međusobno proporcionalne (visina tijela, obim grudi, kraci mišićnih sila, raspon ruku, dužina koraka itd). Shodno tome, sve površinske dimenzije tijela ( $L^2$ ) rašće sa kvadratom odgovarajuće dužine tijela (površina fiziološkog presjeka mišića, površina poprečnog presjeka krvnih sudova, površina alveola itd), a sve zapreminske dimenzije ( $L^3$ ) sa izabranom dužinom tijela na treći stepen (masa tijela, masa mišića, zapremina krvi, zapremina srca, zapremina pluća itd). Tako teorijski predviđeni alometrijski eksponent  $b$  za grupu testova kojima se procjenjuje maksimalna jačina mišića u uslovima savladavanja spoljašnjeg opterećenja iznosi  $b=0.67$ , ukoliko se rezultati testova normalizuju masom tijela ( $m$ ). Upravo i predmet ovog istraživanja se odnosi na povezanost mase tijela, kao reprezentiva dimenzija tijela, sa ispoljavanjem maksimalne sile muskulature nogu.

## Metod rada

Uzorak ispitanika sačinjavala su dvadeset i četiri ( $N=24$ ) studenta prve godine Fakulteta fizičkog vaspitanja i sporta Univerziteta u Banjoj Luci. Ispitanici su bili muškog pola, kao i normalnog zdravstvenog statusa. U eksperiment su uključeni oni studenti koji su prethodno bili adekvatno tehnički obučeni za izvođenje zadataka u teretani.

Sve varijable sa kojima se operiše u ovom istraživanju moguće je uslovno podijeliti na antropometrijske varijable i varijable za procjenu mišićne sile. Od antropometrijskih varijabli u ovom radu su korištene: tjelesna visina, tjelesna masa, procenat mišićnog tkiva, procenat masnog tkiva, odnos mišićno-masne komponente (MFR-indeks). Za potrebe antropometrijskih mjerenja korišten je antropometar i tjelesni analizator TANITA BC – 418 (body composition analyzer).

Za procjenu maksimalne sile muskulature nogu izabran je testni zadatak čučanj (squat). Maksimalna jačina muskulature nogu je ispoljena pri izometrijskim kontrakcijama, kao i prilikom izvođenja sporih pokreta (1RM).

Izometrijska jačina muskulature nogu mjerena je pomoću elektronskog dinamometra "GLOBUS TESYS 1000" koji je prilikom mjerenja sile muskulature nogu registrovao silu razvlačenja (trakcije). Rezultati su registrovani u njutnima (N). Izmjerena je maksimalna izometrijska sila muskulature nogu u vježbi čučanj, i to za uglove u zglobu koljena od  $80^\circ$ ,  $110^\circ$ ,  $140^\circ$ . Ispitanici su nakon odgovarajućeg zagrijavanja izvršili tri maksimalne izometrijske kontrakcije mišića nogu za svaki predhodno definisan ugao u zglobu koljena, u položaju čučanj. Ispitanicima su davane instrukcije da razviju maksimalnu silu za što kraće vrijeme i da je zadrže tokom četiri sekunde. Signal razvoja sile u vremenu bilo je moguće pratiti preko monitora računara. Iz zabilježene krive softver je automatski izračunavao maksimalnu silu.

Maksimalna sila ostvarena u sporim pokretima, dobijena je primjenom specifičnog testa ponovljenih (repetitivnih) maksimuma (RM), tokom kojeg ispitivač nastoji da utvrdi maksimalan broj podizanja jedne težine nakon kojeg dolazi do otkaza. Najčešći broj ponavljanja je između 1 i 10. Podignuta RM-težina se množi ranije utvrđenim empirijskim koeficijentom koji odgovara broju ostvarenih ponavljanja. Rezultati mjerenja iskazani su u kilogramima.

**TABELA 1.** KOEFICIJENTI ZA IZRAČUNAVANJE MAKSIMALNE TEŽINE KOJU ISPITANIK MOŽE DA PODIGNE NA OSNOVU BROJA PONAVLJANJA NAKON KOJEG JE DOŠLO DO OTKAZA

Broj ponavljanja	Koeficijent	Broj ponavljanja	Koeficijent
<b>1</b>	1,00	<b>6</b>	1,20
<b>2</b>	1,07	<b>7</b>	1,23
<b>3</b>	1,10	<b>8</b>	1,27
<b>4</b>	1,13	<b>9</b>	1,32
<b>5</b>	1,16	<b>10</b>	1,34

Svi podaci prikupljeni tokom istraživanja obrađeni su postupcima deskriptivne i kauzalne parametrijske statistike. Za matematičko procesiranje originalnih podataka koristio se aplikacioni program za personalne računare STATISTICA 7.

## Rezultati

Na vezu između motoričkih sposobnosti i tjelesnih dimenzija često utiču i brojni ometajući faktori, kao što su: tjelesni sastav, pol, nivo fizičkih aktivnosti ili sposobnosti. Kako su navedeni faktori specifični za svakog ispitanika, nehomogenost uzorka mogla bi bitno uticati na validnost dobijenih rezultata (detaljnije vidjeti u preglednim radovima Jarić 2002; Jarić 2003). Stoga je važno naglasiti da je postojećom studijom testiran relativno homogen uzorak, kojeg su sačinjavali studenti Fakulteta fizičkog vaspitanja i sporta. U tabeli 2. prikazani su osnovni statistički pokazatelji antropometrijskih varijabli. Na osnovu prosječnog odnosa mišićno-masne komponente (MFR) koja je kod ove grupe ispitanika iznosila 4,14 može se konstatovati da se radi o ispitanicima koji pripadaju mišićno sportskom morfološkom tipu (Ugarković 1996).

**TABELA 2.** OSNOVNI DESKRIPTIVNI POKAZATELJI ANTROPOMETRIJSKIH I MOTORIČKIH KARAKTERISTIKA

Varijable	N	Min.	Maks.	Ar.sred.	St.dev.	K.var.
Tjelesna visina(cm)	24	168.00	190.30	179.63	5.96	0.03
Tjelesna masa(kg)	24	57.10	95.00	73.89	8.85	0.11
Potk. masno tkivo(%)	24	5.40	21.40	13.28	3.74	0.28
Misicno tkivo(%)	24	45.30	52.40	49.69	1.67	0.03
MFR indeks(%)	24	2.22	9.25	4.14	1.63	0.39
Čučanj 80°(N)	24	954,00	1957,00	1290,46	303,56	0.23
Čučanj 110°(N)	24	1217,00	2714,00	1834,71	435,89	0.23
Čučanj 140°(N)	24	1690,00	3198,00	2402,71	484,44	0.20
Čučanj (kg)	24	115,00	191,00	150,41	21,56	0,14

**TABELA 3.** POVEZANOST REZULTATA TESTOVA ZA PROCENU MAKSIMALNE JAČINE MUSKULATURE NOGE SA MASOM TIJELA.

Testni zadaci(S)	Parametri jednačine		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>
Čučanj 80°(N)	1,64	<b>0.78</b>	0.43*
Čučanj 110°(N)	1.60	<b>0.88</b>	0.46*
Čučanj 140°(N)	1.38	<b>1.06</b>	0.64*
Čučanj (kg)	1.01	<b>0.62</b>	0.52*

\*  $p < 0.05$

Primjenom regresione analize, metodom najmanjih kvadrata izračunate su vrijednosti parametara  $a$  i  $b$ , čime se određuje povezanost mišićne sile i tjelesne mase (tabela 3). Parametar  $a$  predstavlja odsječak, a parametar  $b$  koeficijent nagiba regresione prave  $\log(S)=\log(a)+b\cdot\log(m)$  gdje je  $S$  testirana motorička sposobnost, a  $m$  masa tijela ( $r$  – odgovarajući koeficijenti korelacije) (tabela 3). Ovakve vrijednosti alometrijskog parametra  $b$  govore u prilog tome da mišićna sila ne raste proporcionalno sa masom tijela, već raste proporcionalno sa  $m^b$ .

## Diskusija

U ovom istraživanju dokazano je da postoji pozitivna korelacija između tjelesne mase i ispoljene sile muskulature nogu ostvarene u izometrijskim uslovima (čučanj  $80^\circ$   $r=0.43$ , čučanj  $110^\circ$   $r=0.46$ , čučanj  $140^\circ$   $r=0.64$ ), kao i između tjelesne mase i ispoljene sile muskulature nogu ostvarene u sporim pokretima (čučanj  $r=0.52$ ) Zavisnost ispoljene sile od tjelesne mase kod pojedinih sportista je jako visoka. Tako je kod svjetskih rekordera u dizanju tegova korelacija između sportskog rezultata i sopstvene težine veoma visoka  $r=0.93$ , kod učesnika na prvenstvu svijeta u dizanju tegova ona je manja  $r=0.84$ , kod sportista druge sportske grane  $r=0.80$ , dok kod osoba koje se ne bave sportskim aktivnostima koeficijent korelacije može biti jednak nuli (F. Rasch et al 1960, vidjeti Zaciorski 1975). Što se tiče mišićne sile ona se povećava sa povećanjem tjelesne mase (kod osoba približno jednakog nivoa treniranosti), dok se relativna sila smanjuje. Na primjer, svjetski rekord u disciplini nabačaj u težinskoj kategoriji od 56 kg iznosi 168,0kg. To znači da je relativna mišićna sila jednaka 3,0 ( $168,0 \text{ kg} / 56\text{kg} = 3,0$ ). Tjelesna masa sportista superteške kategorije sa druge strane mora biti iznad 105kg (obično je između 130 i 140kg). Ako bi najbolji sportisti te kategorije imali relativnu silu 3,0 po kilogramu tjelesne težine, oni bi mogli da izvedu nabačaj od približno 400 kg. Međutim, svjetski rekord u toj kategoriji iznosi 263,5 kg (Zaciorski, 2009). Ovo pokazuje da tjelesna masa i mišićna sila nisu proporcionalne, već sa porastom mase tijela izmjerena sila sve sporije raste (raste sa  $m^{2/3}$ ) Jarić (1997). Pregledom literature zapaža se da eksperimentalni pristup u određivanju alometrijskog eksponenta, za različite grupe testova, obezbjeđuje rezultate približne teorijski predviđenim. Teorijski predviđeni alometrijski eksponent  $b$  za grupu testova kojima se procjenjuje maksimalna jačina mišića u uslovima savladavanja spoljašnjeg opterećenja iznosi, kao što je prethodno pokazano,  $b=0.67$  ukoliko se rezultati testova normalizuju masom tijela ( $m$ ). Dobijeni alometrijski eksponenti u ovom istraživanju (čučanj  $80^\circ$   $b=0.78$ , čučanj  $110^\circ$   $b=0.88$ , čučanj  $140^\circ$   $b=1.06$ , čučanj 1RM  $b=0.62$ ) slični su sa alometrijskim eksponentima dobijenim u dosadašnjim istraživanjima. Tako Atkins (2004) iznosi zaključak da je kod ragbi igrača, jačina mišića nogu mjerena na dinamometru proporcionalna sa  $m^{0.62}$ , što je veoma blizu teorijski predviđenoj vrednosti. Jarić, Radosavljević-Jarić i sar. (2002) su za različite grupe mišića, na kojima je mjerena jačina u izometrijskim uslovima, dobili različite alometrijske eksponente  $b$  [fleksori kolena  $b=0.56$  ( $p<0.01$ ); ekstenzori kolena  $b=0.70$  ( $p<0.05$ ); fleksori kuka  $b=0.79$  ( $p>0.05$ ) i ekstenzori kuka  $b=0.45$  ( $p>0.05$ )]. Marković i Jarić (2004) su sa druge strane, za različite testove u kojima je mjerena maksimalna jačina mišića, dobili različite alometrijske eksponente  $b$  [polučučanj u izometrijskim uslovima  $b=0.94$  ( $r=0.37$ ,  $p<0.05$ ); duboki čučanj  $b=0.42$  ( $r=0.32$ ,  $p<0.05$ )]. Relativno niži alometrijski eksponenti  $b$  dobijeni u testovima za procjenu jednog ponavljajućeg maksimuma objašnjava se činjenicom da prilikom podizanja velikih tereta pojedinac ne savladuje samo spoljašnje opterećenje (u odnosu na masu tijela teorijski predviđeni alometrijski eksponent  $b=0.67$ ), već takođe savladuje težinu segmenata sopstvenog tijela ( $b=-0.33$ ). Kao rezultat toga, eksperimentalno dobijeni alometrijski eksponent  $b$  često se nalazi između navedenih vrijednosti. Ovo istraživanje ukazuje da je alometrijski eksponent  $b$ , kod normalizovanja rezultata testova u odnosu na masu

tijela, različit od 1. Na taj način potvrđena je nelinearnost ove veze i neadekvatnost metoda proporcionalnog skaliranja. Iz svega navedenog slijedi zaključak da rezultate mjerenja mišićne sile treba dijeliti sa masom tijela stepenovanom alometrijskim eksponentom, da bi se dobila relativna sila (jačina) ispitanika.

## Zaključak

Na uzorku od dvadeset i četiri (N=24) studenta prve godine Fakulteta fizičkog vaspitanja i sporta Univerziteta u Banjoj Luci istraživana je povezanost mase tijela, kao reprezentiva dimenzija tijela, sa ispoljavanjem mišićne jačine muskulature nogu. Na osnovu rezultata dobijenih u ovom istraživanju može se zaključiti da postoji pozitivna korelacija između tjelesne mase i ispoljene sile muskulature nogu, a da bi se dobila relativna sila (jačina) ispitanika rezultate mjerenja maksimalne sile muskulature nogu treba dijeliti sa masom tijela stepenovanom alometrijskim eksponentom.

## Literatura

1. Astrand, P.O. and Rodahl, K. (1986): *Textbook of work physiology*. New York: McGraw-Hill Book Company
2. Atkins, S.J. (2004): Normalizing expressions of strength in elite rugby league players. *J Strength Cond Res*. 18: 53-58.
3. Hill, A.V. (1950). "The dimensions of animals and their muscular dynamics". *Science progress*, 38: 209-230.
4. Jarić, S. (1997). "Biomehanika humane lokomocije sa biomehanikom sporta". *Beograd, Dosije*.
5. Jarić, S. (2002):Muscle strength testing:the use of normalization for bodysize.*Sports Med* 32:615-631
6. Jaric, S. (2003). "Role of body size in the relation between muscle strength and movement performance." *Exerc Sport Sci Rev*. 31(1): 8-12.
7. Jaric, S.; Radosavljevic-Jaric, S. (2002): "Muscle force and muscle torque in humans require different methods when adjusting for differences in body size." *Eur J Appl Physiol*. 87(3): 304-7.
8. Markovic, G.; Jaric, S. (2004): "Movement performance and body size: the relationship for different groups of tests". *Eur J Appl Physiol*. 92: 139-149.
9. McMahon, T.A. (1984). "Muscles, reflexes, and locomotion". Princeton: Princeton University Press.
10. Schmidt-Nielsen, K. (1984). "Scaling: why is animal size so important?". Cambridge: *cambridge university press*.
11. Ugarković, D. (1996): Biologija razvoja čovjeka sa osnovama sportske medicine. *Beograd, Fakultet fizičke kulture*,
12. Vanderburgh P.M.; Katch F.I.; Choenleber J.; Balabinis C.P.; Elliot R. (1996): "Multivariate allometric scaling of men's world indoor rowing champion performance". *Med Sci Sports Exerc* 28:626-630
13. Zaciorski, V.M.(1975): *Fizička svojstva sportiste*. Beograd, NIP Partizan.
14. Zaciorski, V.M.; Kremer, W.J.(2009): *Nauka i praksa u treningu snage*. Beograd, *Datastatus*.