

## ПОВЕЗАНОСТ АЛОМЕТРИЈЕ ТЕЛА И ТРАНЗИТНЕ БРЗИНЕ ХУМАНЕ ЛОКОМОЦИЈЕ

### Сажетак

Ходање и трчање спадају у природне облике кретања и представљају две основне кретне активности човека. Најмања брзина при којој човек спонтано из ходања прелази у трчање назива се транзитна брзина (*PTS*). У налазима досадашњих истраживања постоји знатан број неконзистентности о повезаности алометрије тела и феномена транзитне брзине. Са тим у вези, циљеви овог истраживања су били да се утврди повезаност: (1) лонгитудиналних, трансверзалних и циркуларних димензија тела са *PTS*; (2) телесних пропорција са *PTS*; (3) варијабли телесне композиције са *PTS*; и предиктивна моћ алометрије тела у детерминисању *PTS*. Узорак је обухватио 59 испитаника мушког пола (старости  $21.76 \pm 1.93$  година), хетерогених по телесним димензијама. Измерено је 15 антропометријских варијабли, телесна композиција и одређена је транзитна брзина. Статистичка анализа је обухватила Пирсонову корелацију и Мултиваријантну регресиону анализу. *PTS* је износила  $7.96 \pm 0.38 \text{ km h}^{-1}$ . Највеће корелације са *PTS* су забележене код варијабли дужина потколенице ( $r = -0.488$ ), дужина стопала ( $r = 0.418$ ) и дужина ноге ( $r = -0.410$ ,  $p < 0.01$ ). Телесне пропорције су показале веће коефицијенте корелације са *PTS* у односу на појединачне антропометријске варијабле, а највећа корелација је забележена између пропорције дужина натколенице/дужина потколенице и *PTS* ( $r = 0.521$ ,  $p < 0.01$ ). Количина телесне масти и проценат масног ткива су једине варијабле код којих је пронађена ниска инверзна корелација са *PTS* ( $r = -0.250$ ,  $p < 0.05$ ). Линеарна регресија је показала да се 31% варијансе транзитне брзине може објаснити преко варијабли дужина потколенице и дужина стопала. Резултати хијерархијске регресије показују да се 50.4% варијансе *PTS* може објаснити преко 4 телесне пропорције. Најважнији резултати овог експеримента указују да су пропорције тела бољи предиктори транзитне брзине у односу на појединачне антропометријске варијабле, односно да телесна конституција и пропорције између дужина сегмената ногу, представљају важније предикторе транзитне брзине од дужине појединачних телесних сегмената.

**Кључне речи:** БРЗИНА / ХОДАЊЕ / ТРЧАЊЕ / МОРФОЛОГИЈА / РЕЛАЦИЈЕ / ПРЕДИКЦИЈА

## THE RELATIONSHIP BETWEEN BODY ALOMETRY AND GAIT TRANSITION SPEED OF HUMAN LOCOMOTION

### Summary

Walking and running represent the two basic, fundamental patterns of human locomotion. The lowest speed at which a man spontaneously switches from walking to running is called preferred transition speed (*PTS*). There are a considerable number of inconsistencies regarding the importance and influence of body size and muscle factors in the phenomenon of gait transition speed, in the previous research findings. The objectives of this study were to determine: (1) the relationship between longitudinal, transversal and circular dimensions of the body and *PTS*; (2) the relationship between body proportions and *PTS*; (3) the relationship between body composition variables and *PTS*; (4) the predictive power of human allometry in determination of *PTS*. The sample comprised 59 male subjects (age  $21.76 \pm 1.93$  years) heterogeneous in physical dimensions. We measured 15 anthropometric variables, body composition, and determined individual *PTS* using the standard increment protocol. Statistical analysis included Pearson correlation and Multivariate linear regression. The value of *PTS* in this study was  $7.96 \pm 0.38$  km h<sup>-1</sup>. the highest correlations with *PTS* were recorded for variable lower leg length ( $r = -0.488$ ), foot length ( $r = 0.418$ ) and leg length ( $r = -0.410$ ,  $p < 0.01$ ). Body proportions showed higher correlations with the *PTS* in compare to individual anthropometric variables, and the highest correlation was observed between the proportion of the thigh length/lower leg length and *PTS* ( $r = 0.521$ ,  $p < 0.01$ ). The amount of body fat and percentage of body fat had low inverse correlation with *PTS* ( $r = -0.250$ ,  $p < 0.05$ ). Linear regression showed that 31% of the *PTS* variance can be explained by the variables lower leg length and foot length. Results of hierarchical regression showed that the 50.4% of the *PTS* variance can be explained through four body proportions. The main results of this experiment indicate that the proportions of the body are better *PTS* predictors in compare to the individual anthropometric variables. This means that body constitution, and especially the proportions between the leg segments and percent of the leg muscle mass, are more important *PTS* determinants than length of individual body segments.

**Key words:** SPEED / WALKING / RUNNING / MORPHOLOGY / RELATIONSHIPS / PREDICTION

## 1. Увод

Ходање и трчање спадају у природне облике кретања и представљају две основне кретне активности човека. Човек може да се креће на различите начине и различитим брзинама. Он је у могућности да се креће различитим брзинама, од веома спорог ходања, па до спринта преко  $10 \text{ m s}^{-1}$ . Треба имати у виду да човек може да хода великим брзинама, али и да трчи малим брзинама (споро трчање - трчкарање). При одређеној брзини, један од ова два начина кретања је увек прихватљивији. Најмања брзина при којој човек спонтано из ходања прелази у трчање назива се транзитна брзина (енгл. *preferred transition speed* – *PTS*).

Тачан механизам који је одговоран за конверзију начина кретања из ходања у трчање и обрнуто при одређеној брзини, и даље није у потпуности разјашњен. С обзиром да је ово мултифакторски феномен чији се механизам тешко може објаснити утицајем појединачног фактора, у бројним досадашњим истраживањима на ову тему, испитиван је утицај различитих антропометријских (*Hreljac, 1995b; Šentija, Rakovac, & Babić, 2012*), енергетских (*Ganley u cap. 2011; Mercier u cap. 1994*), механичких (*Raynor u cap. 2002; Ranisavljev u cap. 2014*), кинематичких (*Diedrich & Warren, 1995; Hreljac, 1995a*) и мишићних (*Malcolm u cap. 2009; Prilutsky & Gregor, 2001; Segers u cap. 2007*) фактора на промену начина кретања.

У предходним истраживањима на људској популацији је показано да одређене телесне димензије утичу на *PTS*. Ипак, мора се нагласити да су резултати ових малобројних истраживања неусаглашени, а експерименти прожети бројним лимитирајућим факторима. Иако су мишљења међу истраживачима и даље опречна, ни једно од бројних истраживања није успело да дефинише одређену варијаблу као примарни фактор одговоран за конверзију облика кретања. Иако велики број истраживања на ову тему постоји, ниједно истраживање није обухватило већину релевантних варијабли које би заједно могле да објасне феномен конверзије начина кретања.

Према моделу инвертног клатна који базира анализе ходања и трчања на појединачним антропометријским димензионалностима, до транзиције из ходања у трчање долази када се достигне брзина при којој није могуће ефикасно коришћење енергије услед антропометријских лимитирајућих фактора (*Alexander, 1989; Kram u cap. 1997*). Са друге стране, метаболички утрошак енергије и мишићна активност се могу релативно прецизно предвидети кроз пропорције телесних сегмената, када се модел базира на ефикасности покрета у складу са индивидуалним морфолошким карактеристикама (*Carey & Crompton, 2005*). Ипак, резултати о утицају алометрије тела на транзитну брзину и даље су прилично неусаглашени. Док новија истраживања указују да не постоји корелација између телесне масе и *PTS* (*Šentija u cap. 2012*), старија су показала висок ниво повезаности ( $r = 0.74$ ) ове варијабли и транзитне брзине (*Hreljac, 1995b*). Са друге стране, док су у неким истраживањима забележене значајне корелације између лонгитудиналних димензија тела и *PTS* (*Raynor u cap. 2002*), други наводе да су само трансверзалне димензије значајно повезане са *PTS* (*Šentija u cap. 2012*).

Сва досадашња истраживања су изведена на релативно малим узорцима испитаника, најчешће оба пола. Такође, ни у једном истраживању није испитивана повезаност варијабли телесног састава и *PTS*, нити пропорција телесних сегмената и транзитне брзине. С тим у вези, циљ овог експеримента је био да се на великом узорку здравих, физички активних испитаника мушког пола, хетерогених по телесним димензијама, утврде релације алометрије тела и транзитне брзине.

## 2. Методологија истраживања

Експеримент је изведен у два одвојена тестирања, која су изведена у периоду између  $9^{00}$  и  $13^{00}$  часова, истим инструментима и по истоветним протоколима од стране истих испитивача.

## 2.1. Узорак испитаника

Узорак је обухватио 59 испитаника мушког пола из популације студената Факултета спорта и физичког васпитања, старости 19-25 година. У време експеримента, сви студенти су били здрави и без било каквих повреда или болести које би могле да утичу на резултате тестова. Величина узорка је израчуната стандардним упутствима помоћу софтвера *G-Power*, а добијени налази су показали да је довољно 29 испитаника да би се открила значајна корелација од 0.5 за моћ студије 1,  $\beta = 0.8$  и ниво грешке  $\alpha = 0.05$  (Faul и сар., 2007).

## 2.2. Узорак варијабли

Првог дана тестирања су измерене антропометријске варијабле и варијабле телесног састава, а другог дана тестирања је измерена транзитна брзина.

## 2.3. Антропометријске варијабле

Пре почетка мерења, обележене су фиксне антропометријске тачке релевантне за овај протокол мерења. Сва мерења ће бити изведена у складу са Интернационалним биолошким програмом на доминантној страни тела (Weiner & Lourie, 1969). Одабране антропометријске варијабле су значајно повезане са *PTS* према резултатима досадашњих истраживања (Hreljac, 1995b; Raynor и сар. 2002; Šentija и сар. 2012).

Од антропометријских варијабли измерене су: телесна висина, седећа висина, дужина ноге, дужина натколенице, дужина потколенице, дужина стопала, висина латералног малеолуса, битрохантерични дијаметар, бикристални дијаметар, дијаметар рамена, дијаметар стопала, дијаметар скочног зглоба, дијаметар колена, обим натколенице, обим потколенице. За мерење телесне висине и дужине ноге коришћен је антропометар по Мартину, са прецизношћу од 1 mm. Дијаметри су мерени помоћу кефалометра (*GPM, Swiss Made*), а циркуларне димензије помоћу антропометријске траке *Harpenden (Holtain Ltd)*.

## 2.4. Процена телесног састава

Процена телесног састава испитаника је изведена методом биоелектричне импедансе (*Bioelectrical Impedance Analysis – BIA*), на професионалном апарату *Biospace InBody 720* (Seoul, Korea). Основне варијабле коришћене у истраживању су: телесна маса, безмасна телесна маса (*FFM*), чиста мишићна маса (*LMM*), маса скелетних мишића (*SMM*), маса масног ткива (*BF*), проценат масног ткива (*BF%*), маса мишића у десној и левој ноzi. Индексирани варијабле коришћене у истраживању су: индекс телесне масе (*BMI*), индекс безмасне телесне масе (*FFMI*) и индекс масе масног ткива (*BFI*).

## 2.5. Одређивање транзитне брзине

Другог дана тестирања измерене су индивидуалне *WRT* и *RWT* брзине. Ради упознавања са кретањем на покретној траци и у циљу загревања, сви испитаници су ходали и трчали на тредмилу (*Treadmill T200, Rome, Italy*) у трајању од 15 минута различитим брзинама од 4 до 10  $\text{km h}^{-1}$  (Schieb, 1986). Након тога, приступило се одређивању индивидуалне *WRT* и *RWT* брзине коришћењем стандардног „инкрементног“ протокола (Hreljac и сар. 2007a). Испитаницима је стриктно објашњено да се током теста не мери максимална брзина ходања нити минимална брзина трчања, већ брзине при којима трчање, односно ходање постају лакши облици кретања.

Инкрементни протокол започиње тако што испитаници ходају на тредмилу почетном брзином од 5  $\text{km h}^{-1}$ . Потом се у једнаким временским периодима од 30 секунди брзина повећавала за 0.2  $\text{km h}^{-1}$ . Брзина на којој испитаник више није у могућности да одржи константан контакт обе ноге са подлогом током већег

дела циклуса хода, односно брзина при којој је испитаник субјективно осетио да је трчање природнији облик кретања него ходање, дефинисана је као *WRT* брзина.

Након паузе од 5 минута, изведено је мерење индивидуалне *RWT*. Почетна брзина трчања на тредмилу биће подешена на  $10 \text{ km h}^{-1}$ , а потом ће се у једнаким временским периодима од 30 секунди брзина смањивати за  $0.2 \text{ km h}^{-1}$ . Брзина при којој испитаник субјективно процени да је ходање природнији облик кретања него трчање, биће дефинисана као *RWT* брзина. *PTS* је израчуната као аритметичка средина брзина *WRT* и *RWT* (Hreljac, 1995b; Prilutsky & Gregor, 2001; Raynor *u cap.* 2002).

## 2.6. Обрада података и статистичка анализа

Подаци добијени у реализованом истраживању обрађени су применом дескриптивне, компаративне и регресионе статистичке анализе. Пре статистичке обраде резултата тестирана је хипотеза о нормалности дистрибуције за сваку од варијабли помоћу Колмогоров-Смирнов теста. Обрада података је обухватила израчунавање основних параметара дескриптивне статистике антропометријских варијабли и варијабли телесног састава. У дескриптивној статистици користили су се показатељи: аритметичка средина (Mean), стандардна девијација (SD), минимална и максимална вредност (MIN и MAX).

Пирсонова корелација је коришћена у циљу анализе повезаности антропометријских варијабли и варијабли телесног састава са транзитном брзином. Мултиваријантна регресиона анализа се користила у циљу анализе зависности транзитне брзине и осталих варијабли. „*Stepwise*“ методом је утврђено које варијабле представљају значајне предикторе транзитне брзине. Све *p* вредности мање од 0.05 се сматрају значајним.

Сви подаци су обрађени помоћу софтвера *SPSS* (*SPSS 21.0; Chicago, IL*) и *Microsoft Office Excel 2007* (*Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA*).

### 3. Резултати

Просечна старост испитаника ( $n = 59$ ) је била  $21.76 \pm 1.93$  година, док је вредност транзитне брзине износила  $7.96 \pm 0.38 \text{ km h}^{-1}$ . Постојала је значајна разлика ( $t = 6.991$ ;  $p < 0.01$ ) између брзина  $WRT$  ( $8.12 \pm 0.41 \text{ km h}^{-1}$ ) и  $RWT$  ( $7.84 \pm 0.42 \text{ km h}^{-1}$ ). Да би се анулирао ефекат хистерезе од  $0.28 \text{ km h}^{-1}$ ,  $PTS$  као средња вредност  $WRT$  и  $RWT$  је коришћена за даље анализе. Дескриптивна статистика антропометријских карактеристика испитаника и корелације истих са  $PTS$  је приказана у табели 1.

**Табела 1** Антропометријске карактеристике испитаника ( $Mean \pm SD$ ) и корелације са  $PTS$ , у оригиналним вредностима и скалираним у односу на телесну висину

Антропометријске варијабле (cm)	Mean $\pm$ SD	Коефицијент корелације $PTS$ и следећих варијабли:	
		Оригиналне	скалиране
телесна висина	181.58 $\pm$ 6.34	0.011	
седећа висина	95.99 $\pm$ 3.08	0.107	0.149
дужина ноге	97.53 $\pm$ 6.74	<b>-0.309*</b>	<b>-0.410**</b>
дужина натколенице	42.93 $\pm$ 2.88	<b>0.264*</b>	<b>0.301*</b>
дужина потколенице	40.35 $\pm$ 2.67	<b>-0.366**</b>	<b>-0.488**</b>
дужина стопала	27.61 $\pm$ 1.38	<b>0.358**</b>	<b>0.418**</b>
висина латералног малеолуса	7.22 $\pm$ 0.76	-0.168	-0.194
обим натколенице	58.95 $\pm$ 4.92	-0.083	-0.095
обим потколенице	39.06 $\pm$ 2.70	-0.094	-0.103
дијаметар кукова	33.28 $\pm$ 1.75	<b>0.323*</b>	<b>0.343**</b>
дијаметар рамена	28.63 $\pm$ 1.98	0.205	0.212
дијаметар скочног зглоба	7.69 $\pm$ 0.41	-0.026	-0.040
дијаметар стопала	9.56 $\pm$ 0.65	-0.163	-0.207
дијаметар колена	9.91 $\pm$ 0.45	0.057	0.054
дијаметар рамена	42.05 $\pm$ 1.99	-0.146	-0.174

\*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$

Све варијабле су показале благо повећање вредности корелација након скалирања према телесној висини. Највеће корелације са  $PTS$  након скалирања, забележене су код варијабли дужина потколенице ( $r = -0.488$ ), дужина стопала ( $r = 0.418$ ) и дужина ноге ( $r = -0.410$ ,  $p < 0.01$ ).

**Табела 2** Пропорције антропометријских варијабли (*Mean ± SD*) и корелације са *PTS*

Пропорције антропометријских варијабли	<i>Mean ± SD</i>	Коефицијент корелације <i>PTS</i> и:
дужина натколенице / дужина потколенице	1.07 ± 0.09	<b>0.521**</b>
дијаметар рамена / дијаметар кукова	1.27 ± 0.07	<b>-0.423**</b>
дужина ноге / дужина стопала	3.54 ± 0.30	<b>-0.461**</b>
седећа висина / дужина ноге	0.99 ± 0.06	<b>0.417**</b>

\*\*  $p < 0.01$ 

У табели 2 су приказане пропорције антропометријских варијабли ногу и трупа које су у корелацији са *PTS*. Као што се види, телесне пропорције показују веће коефицијенте корелације са *PTS* у односу на појединачне антропометријске варијабли (коефицијенти корелације су већи од 0.4). Највећа корелација је забележена између пропорције дужина натколенице / дужина потколенице и *PTS* ( $r = 0.521, p < 0.01$ ).

**Табела 3** Телесна композиција и индекси телесне композиције у корелацији са *PTS*

Телесна композиција ( <i>kg</i> )	<i>Mean ± SD</i>	Коефицијент корелације <i>PTS</i> и следећих варијабли:
телесна маса	79.63 ± 9.59	-0.100
<i>FFM</i>	71.14 ± 8.45	-0.012
<i>LMM</i>	67.19 ± 7.98	-0.013
<i>SMM</i>	41.19 ± 5.34	-0.080
<i>BF</i>	8.32 ± 3.13	<b>-0.250*</b>
<i>RLLM</i>	10.91 ± 1.32	0.067
<i>LLM</i>	10.84 ± 1.30	0.052
Индекси телесне композиције ( <i>kg m<sup>-2</sup></i> )		
<i>BMI</i>	24.11 ± 2.19	-0.140
<i>FFMI</i>	21.52 ± 1.78	-0.029
<i>BFI</i>	2.52 ± 0.95	-0.222
<i>RLI</i>	3.30 ± 0.25	0.096
<i>LLI</i>	3.28 ± 0.25	0.071
Пропорције варијабли телесне композиције		
маса мишића десне ноге / телесна маса	0.14 ± 0.01	<b>0.309*</b>
маса масног ткива / телесна маса	0.10 ± 0.03	<b>-0.233*</b>

\*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$ 

Количина телесне масти (*BMI*, односно проценат масног ткива, су једине варијабли телесног састава са коефицијентом варијансе већим од 30%. Изузимајући ове две варијабли код којих је пронађена ниска инверзна корелација са *PTS*, све друге варијабли телесног састава нису биле значајно повезане са транзитном брзином (коэф. корелације мањи од 0.1) (табела 3). Корелација између мишићне масе десне и леве ноге је била висока ( $r = 0.995, p < 0.001$ ), па је у даљим анализама коришћена само варијабла маса мишића десне ноге. Пропорција варијабли телесног састава је показала ниску повезаност између количника мишићне масе десне ноге / телесна маса и *PTS* ( $r = 0.309, p < 0.05$ ).

Регресионо моделовање је обухватило два различита приступа (табела 4). Први корак је била линеарна регресија (енгл. *Stepwise*) са *PTS* као зависном и оригиналним алометријским варијаблама као

независним. Овај приступ је показао да се 31% варијансе транзитне брзине може објаснити преко варијабли дужина потколенице и дужина стопала.

Други приступ је обухватио хијерархијску регресију. Сви значајни предиктори униваријантне анализе су укључени у регресиони модел, и хијерархијска регресија је изведена са *PTS* као зависном варијаблом и телесним пропорцијама као независним варијаблама у првом кораку, а све остале варијабле које су имале значајне корелације са *PTS* су убачене у другом кораку. Резултати хијерархијске регресије показују да се 50.4% варијансе *PTS* може објаснити телесним пропорцијама.

**Табела 4** Мултиваријантни регресиони модели са *PTS* као зависном варијаблом

Модел	Предиктори	Std Beta (p value)	R <sup>2</sup>
Мултиваријантна анализа	(x) дужина потколенице	-0.431 (<0.001)	0.310
	(y) дужина стопала	0.424 (<0.001)	
<b>PTS = 7.211 – 0.061*x + 0.116*y</b>			
Хијерархијска анализа	(a) дужина натколенице / дужина потколенице	0.418 (<0.001)	0.504
	(b) дијаметар рамена / дијаметар кукова	-0.252 (0.022)	
	(c) дужина ноге / дужина стопала	-0.225 (0.045)	
	(d) маса мишића десне ноге / телесна маса	0.245 (0.024)	
<b>PTS = 7.385 + 1.785*a – 1.336*b – 0.279*c + 9.854*d</b>			

#### 4. Дискусија

Најважнији резултати овог истраживања указују да су пропорције тела значајно бољи предиктори транзитне брзине у односу на појединачне антропометријске варијабле. Корелација између морфолошких варијабли мишићног система и *PTS* не постоји, изузев пропорције мишићна маса десне ноге / телесна маса, која улази у предиктивни модел транзитне брзине. Такође, количина телесне масти негативно корелира са *PTS*.

Средња вредност *PTS* у овом истраживању је у складу са резултатима претходних истраживања у којима је коришћен инкрементни протокол (види табелу 1), иако је вредност нешто већа (*Diedrich & Warren, 1998; Hanna et al. 2000; Prilutsky & Gregor, 2001*). Забележили смо значајну разлику између *WRT* и *RWT*, а вредност хистерезе од 0.28 km h<sup>-1</sup> је у складу са принципом – „колико је убрзање, толика је хистереза“ (*Hreljac u cap. 2007a*).

##### 4.1. Антропометријске карактеристике и *PTS*

Резултати овог експеримента показују да *PTS* није значајно повезана са телесном висином испитаника. Иако је распон висина испитаника био релативно велики (од 165 до 198 cm), корелација са *PTS* је била испод границе значајности. Генерално посматрано, лонгитудиналне телесне димензије су умерено корелирале са *PTS*, при чему је највећа повезаност забележена са варијаблама дужина потколенице, дужина стопала и дужина ноге (коэф. корелације већи од 0.4).

Претходна истраживања у којима су испитиване повезаности лонгитудиналних (*Hanna et al. 2000; Hreljac, 1995; Thorstensson & Roberthson, 1987; Turvey et al. 1999*), трансверзалних и циркуларних (*Šentija u cap. 2012*) телесних димензија са *PTS*, показала су велики опсег различитих, врло често супротних резултата. Једно од првих истраживања (*Thorstensson & Roberthson, 1987*) показало је да постоји „слаба тенденција“ ка повећању *PTS* са повећањем дужине ноге. Истраживање Хрелџа (*Hreljac,*



1995b) било је прво у коме су озбиљно анализирани релације антропометријских карактеристика и *PTS* током хумане локомоције. На малом узорку мушкараца ( $n = 13$ ), аутор је навео једну од највећих до сада забележених повезаности транзитне брзине са телесном висином ( $r = 0.5$ ), дужином натколенице и дужином ноге ( $r = 0.45-0.49$ ) и висином латералног малеолуса ( $r = 0.35$ ). Ови коефицијенти су били чак и већи (у распону од  $r = 0.62 - 0.80$ ) када су избачена два аутлајера. Ипак аутор је већ тада навео да би истраживање на великом узорку могло да покаже знатно другачије релације. Сва будућа истраживања на ову тему, укључујући и ово истраживање, показала су значајно мање корелације између антропометријских карактеристика и *PTS*. Недавно истраживање Шентије и сарадника (2012), показало је да лонгитудиналне телесне димензије на узорку оба пола нису значајно повезане са *PTS* (Šentija u cap. 2012). На узорку мушкараца ( $n = 21$ ), аутори наводе да телесна висина и дужина ноге нису значајно повезане са *PTS* иако ниска корелација постоји ( $r =$  од 0.35 до 0.40). Треба нагласити да је ово прво истраживање у коме је испитивана повезаност трансверзалних и циркуларних димензија тела са *PTS*. Аутори наводе да након скалирања према телесној висини, варијабле обим потколенице, битрохантерични и бикристални дијаметар и дијаметар рамена, представљају важне предикторе транзитне брзине са распонем корелација од  $r = -0.51$  до  $-0.63$ .

У супротности са резултатима предходних истраживања о утицају телесне висине на вредност *PTS*, резултати овог експеримента показују да ни телесна висина нити седећа висина нису значајно повезане са *PTS*. Такође, након скалирања према телесној висини, варијабле су показале благо увећање корелације са *PTS*. Треба нагласити да варијабле које нису значајно корелирале са транзитном брзином пре скалирања према телесној висини, нису корелирале ни након скалирања. Наши резултати показују да иако је интензитет корелације дужине ноге и *PTS* у складу са претходним истраживањима, дужина ноге је инверзно повезана са *PTS*. Штавише, супротно истраживању Шентије и сарадника (Šentija u cap. 2012), резултати показују да трансверзалне и циркуларне телесне димензије нису повезане са *PTS*. Једино се варијабла битрохантерични дијаметар може сматрати важним појединачним предиктором *PTS*. Резултати нашег експеримента показују да пропорције телесних сегмената корелирају са *PTS* значајно више у односу на појединачне варијабле. Ово значи да телесна конституција, а нарочито пропорције између сегмената ногу представљају важније предикторе транзитне брзине од дужине појединачних телесних сегмената.

#### 4.2. Телесна композиција и *PTS*

Према нашим сазнањима, ово је прво истраживање у коме је испитивана повезаност телесне композиције са транзитном брзином. Резултати показују да варијабле мишићне масе ни у апсолутним ни у индексираним вредностима не корелирају са *PTS*. Ово није очекивано с обзиром да је неколико предходних истраживања показало велики утицај специфичних мишићних фактора (нарочито утицај мишића *TA*) као узрока конверзије начина кретања (Hreljac, 1995a; Malcolm u cap. 2009; Prilutsky & Gregor, 2001; Segers et al. 2007). Показано је да и други фактори који су повезани са чистом мишићном масом, као што је потрошња кисеоника, имају значајан утицај на транзицију начина кретања (Ganley et al. 2011). Такође, Хрељац и Фербер (2000) наводе малу али значајну ( $r = 0.3$ ) корелацију између производње силе дорзалних флексора скочног зглоба и *PTS* (Hreljac & Ferber, 2000).

Резултати овог истраживања показују да је важан предиктор транзитне брзине пропорција између количине мишићне масе у ногама и телесне масе. Ово имплицира да висока релативна вредност мишићне масе у ногама, значајно утиче на вредност транзитне брзине. Ако узмемо у обзир да је мишићна маса високо повезана са мишићном јачином (Doherty, 2001), занимљиво питање за будуће експерименте је потенцијална повезаност јачине мишића ногу и транзитне брзине. Такође, с обзиром да је овај експеримент изведен на специфичној популацији физички активних младих мушкараца који су релативно хомогени по телесном саставу, пожељно је испитати повезаност различитих соматотипова са већим опсегом морфолошких карактеристика и транзиције кретања.

Такође, на нашем узорку испитаника са релативно малом количином телесне масти, анализа повезаности је показала ниску инверзну корелацију између *BF* и *PTS*. Само једно истраживање пратило је промене *BF* у односу на прогресивно повећање *PTS* током четворомесечног програма мршављења (Ilić u cap. 2012).

Резултати су показали да након смањења телесне масти и повећања чисте мишићне масе, код гојазних жена долази до повећања транзитне брзине. Међутим, пошто аутори нису извели анализу повезаности, не може се дискутовати о утицају смањења телесне масти на повећање *PTS*. Ни једно друго истраживање није анализило телесну композицију у контексту транзитне брзине.

#### 4.3. Алометрија тела и предикција транзитне брзине

Већина претходних истраживања, користила је мултипле регресионе анализе да би пронашла одговарајући модел транзитне брзине, који је објашњен помоћу лонгитудалних и/или трансверзалних/циркуларних телесних димензионалности. Треба истаћи да су аутори претходних истраживања такође нагласили да су сви закључци лимитирани малим величинама узорка, и/или неодговарајућим односом броја испитаника и броја варијабли за регресионе анализе (*Hreljac, 1995b; Šentija u cap. 2012*). У складу са наведеним проблемима претходних истраживања, у овом експерименту смо желели да испитамо које антропометријске димензије објашњавају највећи проценат варијабилитета *PTS*, када је одговарајућа величина узорка, а мали број предикторских варијабли се користи у регресионом моделу.

Регресиона анализа („*stepwise*“) је показала да од појединачних антропометријских варијабли, једино дужина потколенице и дужина стопала улазе у предиктивни модел транзитне брзине и да објашњавају 31% варијансе. У претходним истраживањима добијени су прилично неуједначени резултати о величини објашњене варијансе, као и о варијаблама које представљају најбоље предикторе транзитне брзине. Хрељац наводи да се 57% варијансе *PTS* може објаснити варијаблама висина латералног малеолуса и количником дужина натколенице / седећа висина (*Hreljac, 1995b*). Турвеј и сарадници наводе да је дужина ноге слаб предиктор и да објашњава мање од 10% варијансе *PTS* (*Turvey et al. 1999*). Други аутори наводе дужину трупа као најбољи предиктор транзитне брзине који објашњава око 35% варијансе (*Hanna et al. 2000; Raynor et al. 2002*). На другој страни, у недавном истраживању аутори наводе да се чак 75% варијансе *PTS* код мушкараца може објаснити са седам варијабли: дужина потколенице, битрохантерични дијаметар, дужина ноге, бикристални дијаметар, дијаметар стопала, рамена и висина латералног малеолуса (*Šentija u cap. 2012*). Лимитирајући фактори поменутог експеримента леже у величини узорка ( $n = 21$ ) која није одговарајућа за овај облик регресионе анализе.

На бази добијених резултата, може се рећи да антропометријске карактеристике и телесни састав дефинитивно утичу на *PTS*. Пошто је први регресиони модел са појединачним антропометријским варијаблама показао малу моћ предикције транзитне брзине, у другом кораку смо користили хијерархијски регресиони модел. Примена овог модела базира се на чињеници да су пропорције телесних сегмената показале већи степен корелације са *PTS* у односу на појединачне варијабле. Пропорција дужина натколенице / дужина потколенице је показала највећу корелацију са *PTS*, што значи да краћа потколеница у односу на натколеницу омогућава већу транзитну брзину и обрнуто. Ово је у складу са недавним истраживањем које је означило дужину тибиге као најбољи предиктор оптималне брзине ходања (*Wall-Scheffler, 2012*). Наши резултати показују да су пропорције дијаметар рамена / битрохантерични дијаметар и дужина ноге / дужина стопала инверзно повезани са *PTS*. Истраживања су показала да шири кукови, односно већи битрохантерични дијаметар, утичу на ниже позиционирање ЦМТ што смањује медиолатерално померање (*Kuo, 1999*) и последично смањује потрошњу енергије (*Wall-Scheffler, 2012*). Краће стопало у односу на ногу смањује баланс и стабилност током кретања (*Chiari, Rocchi, & Cappello, 2002*), а смањење стабилности води до раније промене начина кретања (*Diedrich & Warren, 1995*). Пропорција мишићна маса ногу / телесна маса је такође део предиктивног модела. Како је ниво јачине мишића дорзалних флексора скочног зглоба, екстензора колена и флексора кука, који су означени као потенцијални узроци транзиције кретања (*Hreljac, 1995a; Hreljac & Ferber, 2000; Prilutsky & Gregor, 2001*) умерено повезан са максималном брзином ходања (*Bohannon, 1997*) и брзином *WRT* (*Raynor et al. 2002; Ranisavljev u cap. 2014*), ово даље имплицира да висока релативна вредност мишићне масе у ногама може да утиче на вредност *PTS*.

## 5. Закључци

Проблеми из простора реорганизације начина кретања који су анализирани у овом истраживању, пружили су одговоре на суштинска питања о повезаности алометрије тела и феномена транзитне брзине. Антропометријске варијабле код мушкараца нормалне телесне масе имају ниску до умерену корелацију са *PTS*. На вредност транзитне брзине највише утичу лонгитудиналне телесне димензије док трансверзалне димензије и циркуларне димензије тела и ногу нису повезане са *PTS*. Пропорције телесних сегмената имају већу корелацију са *PTS* у односу на појединачне антропометријске варијабле. У предиктивном моделу транзитне брзине, значајно већу варијансу описују телесне пропорције него појединачне антропометријске варијабле. Од мишићних варијабли телесне композиције, једино мишићна маса у ногама може да утиче на вредност *PTS* у оквиру предиктивног модела, док маса масног ткива у апсолутним и релативним вредностима има негативну корелацију са *PTS*. Сумарно посматрано, особама које имају дуже натколенице, мањи количник између дијаметра рамена и кукова, дужине ноге и стопала, и више мишићне масе у ногама, потребан је мањи напор за ходање већим брзинама, што последично омогућава промену начина кретања при већим транзитним брзинама.

Постојање бројних индивидуалних разлика у кретању између различитих особа, указује да повезаност између алометрије тела и *PTS* постоји, али да се познавањем само ових предикторских варијабли не може са великом прецизношћу предвидети вредност транзитне брзине, нити у потпуности објаснити феномен конверзије начина кретања. Резултати овог експеримента показали су да појединачне телесне димензије представљају слабе предикторе *PTS* и да се варијанса транзитне брзине може знатно више описати кроз телесне пропорције, односно телесну грађу, а не само кроз телесну висину или дужину ноге, како су претпоставила претходна истраживања.

## 6. Литература

- Alexander, R. (1989). Optimization and gaits in the locomotion of vertebrates. *Physiological Reviews*, 69(4), 1199–1227.
- Bohannon, R. W. (1997). Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20–79 years: reference values and determinants. *Age & Ageing*, 26(1), 15–19.
- Carey, T. S., & Crompton, R. H. (2005). The metabolic costs of ‘bent-hip, bent-knee’ walking in humans. *Journal of Human Evolution*, 48(1), 25–44.
- Chiari, L., Rocchi, L., & Cappello, A. (2002). Stabilometric parameters are affected by anthropometry and foot placement. *Clinical Biomechanics*, 17(9), 666–677.
- Diedrich, F. J., & Warren, W. H. Jr., (1995). Why change gaits? Dynamics of the walk-run transition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(1), 183–202.
- Doherty, T. J. (2001). The influence of aging and sex on skeletal muscle mass and strength. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 4(6), 503–508.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G\* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191.
- Ganley, K. J., Stock, A., Herman, R. M., Santello, M., & Willis, W. T. (2011). Fuel oxidation at the walk-to-run-transition in humans. *Metabolism*, 60(5), 609–616.
- Hanna, A., Abernethy, B., Neal, R. J., & Burgess-Limerick, R. (2000). Triggers for the transition between human walking and running. In W.A. Sparrow (Ed.). *Energetics of human activity*. Champaign, IL: Human Kinetics, 124–164. ISBN: 0-88011-787-7.
- Heglund, N. C., & Taylor, C. R. (1988). Speed, stride frequency and energy cost per stride: How do they change with body size and gait? *Journal of Experimental Biology*, 138(1), 301–318.

- Hreljac, A. (1995a). Determinants of the gait transition speed during human locomotion: Kinematic factors. *Journal of Biomechanics*, 28(6), 669–677.
- Hreljac, A. (1995b). Effects of physical characteristics on the gait transition speed during human locomotion. *Human Movement Science*, 14(2), 205–216.
- Hreljac, A., & Ferber, R. (2000). The relationship between gait transition speed and dorsiflexor force production. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 108(1–2), 90.
- Hreljac, A., Imamura, R., Escamilla, R. F., & Edwards, W. B. (2007). Effects of changing protocol, grade, and direction on the preferred gait transition speed during human locomotion. *Gait & Posture*, 25(3), 419–424.
- Ilic, D., Ilic, V., Mrdakovic, V., & Filipovic, N. (2012). Walking at speeds close to the preferred transition speed as an approach to obesity treatment. *Srpski Arhiv za Celokupno Lekarstvo*, 140(1–2), 58–64.
- Kram, R., Domingo, A., & Ferris, D. P. (1997). Effect of reduced gravity on the preferred walk-run transition speed. *Journal of Experimental Biology*, 200(4), 821–826.
- Kuo, A. D. (1999). Stabilization of lateral motion in passive dynamic walking. *The International Journal of Robotics Research*, 18(9), 917–930.
- Malcolm, P., Segers, V., Van Caekenberghe, I., & De Clercq, D. (2009). Experimental study of the influence of the M. tibialis anterior on the walk-to-run transition by means of a powered ankle-foot exoskeleton. *Gait & Posture*, 29(1), 6–10.
- Mercier, J., Le Gallais, D., Durand, M., Goudal, C., Micallef, J. P., & Préfaut, C. (1994). Energy expenditure and cardiorespiratory responses at the transition between walking and running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 69(6), 525–529.
- Prilutsky, B. I., & Gregor, R. J. (2001). Swing- and support-related muscle actions differentially trigger human walk-run and run-walk transitions. *Journal of Experimental Biology*, 204(13), 2277–2287.
- Raynor, A. J., Yi, C. J., Abernethy, B., & Jong, Q. J. (2002). Are transitions in human gait determined by mechanical, kinetic or energetic factors? *Human Movement Science*, 21(5–6), 785–805.
- Ranisavljev, I., Ilic, V., Markovic, S., Soldatovic, I., Stefanovic, D., & Jaric, S. (2014). The relationship between hip, knee and ankle muscle mechanical characteristics and gait transition speed. *Human Movement Science*, 38, 47–57.
- Segers, V., Lenoir, M., Aerts, P., & De Clercq, D. (2007). Influence of M. tibialis anterior fatigue on the walk-to-run and run-to-walk transition in non-steady state locomotion. *Gait & Posture*, 25(4), 639–647.
- Šentija, D., Rakovac, M., & Babic, V. (2012). Anthropometric characteristics and gait transition speed in human locomotion. *Human Movement Science*, 31(3), 672–682.
- Thorstensson, A., & Roberthson, H. (1987). Adaptations to changing speed in human locomotion: speed of transition between walking and running. *Acta Physiologica Scandinavica*, 131(2), 211–214.
- Turvey, M., Holt, K., LaFiandra, M., & Fonseca, S. (1999). Can the transitions to and from running and the metabolic cost of running be determined from the kinetic energy of running? *Journal of Motor Behavior*, 31(3), 265–278.
- Wall-Scheffler, C. M. (2012). Size and shape: Morphology's impact on human speed and mobility. *Journal of Anthropology*. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/340493>.
- Weiner, J. S., & Lourie, J. A. (1969). *Human biology. A guide to field methods*. International Biological Programme. Handbook No. 9. Oxford: Blackwell.
- Westat, I. (1988). *National health and nutrition examination survey III: Body measurements (anthropometry)*. Rockville, MD: Westat