

ПРОМЕНЕ АНТРОПОМЕТРИЈСКИХ ПАРАМЕТАРА НАТКОЛЕНИЦЕ У ТОКУ ПРОГРАМИРАНОГ ТРЕНИНГА СНАГЕ

Барак О., Попадић Гаћеша Ј., Драпшин М., Караба Јаковљевић Д., Клашња А.

Завод за физиологију, Медицински факултет Нови Сад

CHANGES OF ANTHROPOMETRIC PARAMETERS OF THE THIGH DURING PROGRAMMED STRENGTH TRAINING

Барак О., Попадић Гаћеша Ј., Драпшин М., Караба Јаковљевић Д., Клашња А.

Institute of physiology, Medical faculty Novi Sad

SUMMARY

Primary stimulus for muscular mass enlargement is to repeat developing of skeletal muscles force in the level above the one which exist in everyday activities. The aim of this work was following the growth of lower leg extensor muscular force as well as changes in the surface of a diagonal upper leg muscular tissue cross-section during eight-week programming force training. 12 male subjects, who were neither active nor regular in practicing sport for the last six months, were included in this examination. Conducted training programme was based on dynamic lower leg extensor muscular force training with concentric and eccentric component. Programme was consisted of three training a week for the period of eight weeks. Anthropometric measuring of the upper leg as well as upper leg skin folds ranges were conducted before the beginning of training programme, after 4th week and at the end of training programme, and also calculated the surface size of diagonal upper leg pure muscular mass cross-section. During eight-week training, we have statistically significant growth of lower leg extensor muscular force (27.20% in 4th week, 50.18% in 8th week). After four-week training, we have statistically enlargement in the surface of diagonal left and right upper leg muscular tissue cross-section for 2.62% and 2.45%. This dimension continued to grow by 8th week of training (7.63% and 7.07%). Programming force training with concentric and eccentric component has lead to significant muscular force growth as well as surface enlargement of diagonal upper leg muscular tissue cross-section in previously untrained person. Muscular mass enlargement was more important at the end of 8th week than after 4th week.

Key words: Force training, Anthropometry, Force.

САЖЕТАК

Примарни стимул за повећање мишићне масе јесте понављање развијања силе скелетних мишића на нивоу изнад оног, који постоји у свакодневним активностима. Циљ истраживања био је праћење прираста мишићне снаге екстензора потколенице и промене површине попречног пресека мишићног ткива натколенице у току 8-недељног програмираног тренинга снаге. Испитивањем је обухваћено 12 испитаника мушког пола, који се нису активно, ни редовно бавили спортом последњих шест месеци. Спроведени тренажни програм се базирао на динамичком тренингу снаге мишића екстензора потколенице са концентричном и ексцентричном компонентом. Програмом су била предвиђена три тренинга недељно у трајању од осам недеља. Пре почетка тренажног програма, након 4. недеље и на самом крају тренинга извршена су антропометријска мерења обима натколенице и кожних набора натколенице, и израчуната је величина површине попречног пресека чисте мишићне масе натколенице. У току 8-недељног тренинга снаге забележен је статистички значајан прираст снаге мишића екстензора потколенице (у 4. недељи 27.20% а у 8. недељи 50.18%). Након 4. недеље тренинга, забележено је статистички значајно повећање површине попречног пресека мишићног ткива леве и десне натколенице за 2.62% и 2.45%. До 8. недеље тренинга дошло је до даљег повећања ове вредности (7.63% и 7.07%). Програмирани тренинг снаге са ексцентричном и концентричном компонентом довео је до значајног прираста мишићне снаге и повећања површине попречног пресека мишићног ткива натколенице код претходно нетренираних особа. Повећање мишићне масе је било значајније на крају 8. недеље тренажног програма, него након 4. недеље.

Кључне речи: Тренинг снаге, Антропометрија, Снага.

УВОД

Функција неког ткива је одраз његове структуре. У случају скелетних мишића, та функција се испољава у виду генерисања силе и омогућавања покрета.

Дуготрајно и понављано излагање мишића физичкој активности доводи до промена унутар самих скелетних мишића, односно до својеврсне адапације на новонас-

тале потребе савладавања повећаног отпора. Најочљивији вид ове адаптације јесте повећање масе мишића, односно мишићна хипертрофија, при чему структура ткива постаје одраз његове функције (1).

Тренинг представља активан, динамички процес, у којем долази до активације физиолошких система читавог организма услед примарног повећања мишићне активности. Циљ тренажног процеса јесте постизање оптималног психофизичког стања, односно подизање физиолошког потенцијала и развијање биомоторних способности на највиши могући ниво функционисања индивидуе (2).

Мишићна снага је максимална величина силе, коју мишић или мишићна група развија у дефинисаном покрету при дефинисаној брзини (3,4). Пратећи динамику прираста снаге уочава се да она, бар у почетку тренажног процеса, не корелира са повећањем мишићне масе. Овај иницијални прираст снаге се одвија, највероватније, адаптацијом на метаболичком и нервном нивоу. У каснијем стадијуму изложености мишића повећаној активности, долази и до структурних промена унутар мишића што се огледа хипертрофијом мишића (5).

ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Циљ истраживања био је праћење прираста мишићне снаге екстензора потколенице и промене површине мишићног ткива попречног пресека натколенице у току 8-онедељног програмираног тренинга снаге.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

Испитаници

Испитивањем је обухваћено 12 испитаника мушког пола, студената I, II и III године Универзитета у Новом Саду. Испитаници се нису активно, ни редовно бавили спортом последњих шест месеци (више од 3 пута недељно, више од 2 сата на дан), стога нису имали наглашене динамогене захтеве локомоторног апарата.

Контролни узорак чиниле су вредности испитивања сваког учесника, добијене пре тренажног процеса. Са овим резултатима упоређивани су параметри добијени у даљем току испитивања.

Тренажни програм

Спроведени тренажни програм се базирао на динамичком тренингу снаге мишића екстензора потколенице са концентричном и ексцентричном компонентом. Програм је садржао три тренинга недељно у трајању од осам недеља. Пре почетка извођења програма одређиване су вредности максималне величине оптерећења које испитаник може да савлада из једног покушаја (1RM - repetition maximum), за две основне вежбе екстензора потколенице (leg press и екстензија на машини) (6).

Тренинг је спроведен по пирамидном систему вежбања за екстензоре потколенице, са пет серија, где се величина оптерећења прогресивно повећавала у свакој наредној серији према утврђеним вредностима 1RM (60%, 70%, 80%, 90%), а број понављања унутар једне

серије обрнуто пропорционално смањивао (10, 8, 6, 4 понављања). На крају вежбе извођена је једна серија од 1-2 понављања ексцентричне компоненте вежбе, где је оптерећење износило 100-120% вредности 1RM, а извођење трајало 3-4s. На сваком тренингу изводиле су се две различите вежбе за екстензоре потколенице са по пет серија.

Пре почетка тренажног програма измерена је телесна висина, а на почетку, након 4. недеље и на самом крају циклуса на испитаницима су извршена друга антропометријска мерења натколенице и тестирање максималне мишићне снаге екстензора потколенице на тренажном апарату leg press.

Тестирање мишићне снаге

За одређивање динамичке мишићне снаге (1 RM) мишићне групе екстензора потколенице одабрано је одговарајуће оптерећење на тренажном апарату leg press, близу, али ипак испод максималне вредности за испитаника. Ако је испитаник савладао задато оптерећење у једном покушају, додавало се оптерећење, све до постизања максималне величине (односно када испитаник више није био у стању да савлада додатно оптерећење). Тако добијене вредности 1 RM су биле изражене у килограмима.

Антропометријска мерења

Код сваког испитаника поред телесне висине одређивани су следећи антропометријски параметри: телесна маса, обим натколенице и кожни набор над натколеницом.

Место за мерење обима (C_T) и кожных набора (C_D) натколенице одређивано је у стојећем положају. Одређена је средишња тачка на половини растојања између великог трохантера и латералног епикондилуса фемура. Дистално од ове тачке, на удаљености од 4 cm, маркирано је место за даља мерења. Сама мерења су извршена у лежећем положају испитаника, са стопалом на лежају и флексијом у коленом зглобу под углом од 90. Пун обим натколенице се одређивао мерном траком, са прецизношћу од 0,1 cm. Кожни набори су мерени калипером (John-Bull) са прецизношћу од 0,01 cm. Растојање између два епикондилуса (d_E) је одређивано анатомским шестаром са прецизношћу од 1 cm.

Према измереним вредностима, антропометријским апроксимацијама (7) и фактору корекције наведеном у литератури (4), израчунати су следећи изведени антропометријски параметри: површина попречног пресека натколенице (A_T), површина попречног пресека фемура (A_F), површина масног ткива попречног пресека натколенице (A_S) и површина мишићног ткива попречног пресека натколенице (A_M).

$$A_T = 0.826 \cdot C_T^2 / 4 \cdot \pi$$

$$A_M = 0.826 \cdot \pi / 4 \cdot ((C_T / \pi S_D)^2 (0.3 \cdot d_E)^2)$$

$$A_F = \pi \cdot (0.3 \cdot d_E / 2)^2$$

$$A_S = A_T - A_M - A_F$$

РЕЗУЛТАТИ

У табели 1. приказане су физичке карактеристике испитаника: узраст, телесна висина, теласна маса измерена пре тренинга (ТМ 0), након 4. (ТМ 1) и након 8. недеље тренинга (ТМ 2).

Табела 1. - Физичке карактеристике испитаника.

	X bar	Max.	Min.	SD	CV
Узраст (год.)	20.58	23	19	1.51	7.31
ТВ (цм)	182.55	191.00	174.00	5.77	3.17
ТМ 0 (кг)	76.33	90.00	62.00	8.94	11.71
ТМ 1 (кг)	76.67	90.00	63.00	8.80	11.48
ТМ 2 (кг)	77.42	90.00	64.00	8.46	10.93

Просечна старост испитаника износила је 20.58 година. Вредности телесне висине и телесне масе показују висок степен хомогености групе у сва три периода мерења. На основу изнетих вредности, примећује се прираст телесне масе, који је статистички значајан ($t_{1-0}=2.32$, $p<0.01$; $t_{2-0}=4.72$, $p<0.01$) између два узастопна мерења.

Резултати испитивања максималне мишићне снаге екстензора потколенице

У табели 2. приказана је динамика промене величине максималне мишићне снаге екстензора потколенице у току 8-недељног програмираног тренинга снаге. Параметри су хронолошки разврстани у периоде пре тренинга, после 4. недеље тренинга и након 8. недеље тренинга и приказани су као средња вредност \pm стандардна девијација.

Табела 2. - Динамика промене величине максималне мишићне снаге екстензора потколенице у току 8-недељног програмираног тренинга снаге.

	пре тренинга	4. недеља тренинга	8. недеља тренинга
Repetition maximum (kg)	184.58 \pm 25.36	234.58 \pm 31.00	276.67 \pm 34.47

У току 8-недељног програмираног тренинга снаге забележен је прираст максималне мишићне снаге екстензора потколенице. Након 4. недеље тренинга, дошло је до прираста максималне мишићне снаге екстензора потколенице, у смислу повећања вредности 1 RM за 50.00 \pm 6.03 кг, тестирано на kontra-press тренажном апарату. У релативним вредностима овај прираст износи 27.20 \pm 1.57 %, и показује статистичку значајност ($t=28.72$, $p<0.01$). Након 8. недеље тренинга, прираст у максималној мишићној снази екстензора потколенице огледа се у повећању вредности 1 RM за 92.08 \pm 11.96 кг, у односу на забележену вредност пре спроведеног тренажног програма. У релативним вредностима овај при-

раст износи 50.18 \pm 5.60 %, и такође показује статистичку значајност ($t=26.67$, $p<0.01$).

Резултати антропометријских мерења натколенице

У табели 3. приказана је динамика промене изведених антропометријских параметара натколенице у току 8-недељног програмираног тренинга снаге. Параметри површине попречног пресека натколенице (A_T), површине попречног пресека фемура (A_F), површине масног ткива попречног пресека натколенице (A_S) и површине мишићног ткива попречног пресека натколенице (A_M), су хронолошки разврстани у периоде пре тренинга, после 4. недеље тренинга и након 8. недеље тренинга и приказани су као средња вредност \pm стандардна девијација.

Табела 3. - Динамика промене антропометријских параметара натколенице у току 8-недељног програмираног тренинга снаге.

		пре тренинга	4. недеља тренинга	8. недеља тренинга
Десна нога	A_T	157.82 \pm 17.19	160.78 \pm 17.23	166.95 \pm 17.41
	A_S	22.78 \pm 7.84	22.64 \pm 7.89	22.95 \pm 8.08
	A_M	128.42 \pm 12.04	131.53 \pm 11.86	137.38 \pm 12.06
Лева нога	A_T	154.20 \pm 15.96	157.40 \pm 16.12	163.97 \pm 16.95
	A_S	22.56 \pm 7.86	22.51 \pm 8.04	22.78 \pm 8.37
	A_M	125.02 \pm 10.38	128.27 \pm 10.37	134.57 \pm 11.47

Након 4. недеље тренинга, просечно повећање површине попречног пресека леве натколенице износи 3.20 \pm 0.17 цм². У релативним вредностима овај прираст износи 2.08 \pm 0.11%, и показује статистичку значајност ($t=14.61$, $p<0.01$). Просечно повећање површине попречног пресека десне натколенице износи 2.96 \pm 0.59 цм². У релативним вредностима овај прираст износи 1.89 \pm 0.40%, и показује статистичку значајност ($t=17.25$, $p<0.01$). Након 8. недеље тренинга, просечно повећање површине попречног пресека леве натколенице износи 9.77 \pm 1.71 цм². У релативним вредностима овај прираст износи 6.34 \pm 0.93%, и показује статистичку значајност ($t=19.76$, $p<0.01$). Просечно повећање површине попречног пресека десне натколенице износи 9.12 \pm 1.65 цм². У релативним вредностима овај прираст износи 5.85 \pm 1.17%, и не показује статистичку значајност ($t=19.15$, $p>0.01$).

Просечно повећање површине попречног пресека мишићног ткива леве натколенице након 4. недеље тренинга износи 3.25 \pm 0.27 цм². У релативним вредностима овај прираст износи 2.62 \pm 0.32%, и показује статистичку значајност ($t=14.01$, $p<0.01$). Просечно повећање површине попречног пресека мишићног ткива десне натколенице износи 3.10 \pm 0.63 цм². У релативним вредностима овај прираст износи 2.45 \pm 0.60%, и показује статистичку значајност ($t=16.98$, $p<0.01$). Просечно повећање површине попречног пресека мишићног ткива леве натколенице након 8. недеље тренинга износи

9.55±1.81 cm². У релативним вредностима овај прираст износи 7.63±1.21%, и показује статистичку значајност ($t=18.28$, $p<0.01$). Просечно повећање површине попречног пресека мишићног ткива десне натколенице износи 8.95±1.62 cm². У релативним вредностима овај прираст износи 7.07±1.48%, и показује статистичку значајност ($t=19.18$, $p<0.01$).

Након 8. недеље тренинга, утврђена је повезаност између промене прираста максималне мишићне снаге екстензора потколенице и антропометријских параметара натколенице (обим натколенице, површина попречног пресека натколенице, и површина попречног пресека мишићног ткива натколенице) са прагом значајност $p<0.01$. Повезаност је најизраженија између промене површине попречног пресека мишићног ткива обе натколенице и максималне мишићне снаге екстензора потколенице.

ДИСКУСИЈА

Примарни стимул за повећање максималне мишићне снаге јесте понављано развијање силе скелетних мишића на нивоу изнад оног, који постоји у свакодневним активностима. Истраживања су показала већу ефикасност комбинованог концентричног и ексцентричног тренинга у смислу прираста мишићне снаге, као и мишићне масе (8,9). Ови радови су указали и на специфичност постигнутих резултата у односу на модалитете тестирања, стога су наша мерења мишићне снаге изведена на исти начин као и само вежбање.

У нашем експерименту, у току 8-недељног програмирањег тренинга снаге, забележен је значајан прираст максималне мишићне снаге екстензора потколенице, како у 4. недељи (50.00±6.03 кг, односно 27.20±1.57%, $p<0.01$), тако и у 8. недељи тренинга (92.08±11.96 кг, односно 50.18±5.60%, $p<0.01$). Higbie и сар. (8) приказују резултате испитивања прираста мишићне снаге екстензора потколенице на женској популацији, након 10-недељног тренинга. Прираст у снази ових мишића након спроведеног ексцентричног тренинга је 36.2%, када је тестирање вршено на исти начин, као и вежбање, и свега 6.8% када је тестирање вршено концентричном мишићном контракцијом. У групи где је примењиван концентрични тренинг, прираст у снази мишића је био 18.4%, при истом тест модалитету, и 12.8%, када је тестирање вршено ексцентричном мишићном контракцијом.

Велика варијабилност у доступним подацима о величинама прираста мишићне снаге је резултат задатих циљева сваког истраживања, односно условљен је полним и старосним разликама (10,11,12). Ипак, приликом упоређивања цитираних података, у први план треба истаћи разлике у примењеном тренажном процесу, који су у великој мери одредили опсег очекиваних промена. Наиме, дефинисани параметри тренажног процеса (учесталост тренинга, избор вежби, трајање тренинга, број серија, величина оптерећења, број понављања) су ти, који на крају одређује динамику и величину адаптационих процеса организма на хронично оптерећење.

Мишићна снага, и могућност развијања силе су повезане са мишићном масом. Подаци о величини површине попречног пресека мишићног ткива се могу добити компјутеризованом томографијом, ултразвучним прегледом и магнетном резонанцијом. Ове технике су, међутим, изразито скупе, дуго трају и захтевају постојање високо специјализоване апаратуре. Кнапик и колеге (8) су испитивали валидност антропометријске процене површине мишићног ткива попречног пресека натколенице, упоређујући своје резултате са вредностима добијеним магнетном резонанцијом. Они су давно познату антропометријску формулу побољшали са фактором корекције, и тако утврдили валидност, а и оправданог (cost-benefit) оваквог процењивања.

Прираст површине попречног пресека мишићног ткива леве натколенице у 4. недељи тренинга износио је 3.25±0.27 cm² (2.62±0.32%), а десне 3.10±0.63 cm² (2.45±0.60%). Промена у 8. недељи тренинга за леву ногу је била 9.55±1.81 cm² (7.63±1.21%), а за десну 8.95±1.62 cm² (7.07±1.48%). Higbie и сар. (8) су магнетном резонанцијом одредили прираст површине *m. quadriceps*-а на седам нивоа, након спроведеног 10-недељног тренинга снаге екстензора потколенице. Код испитаника, који су подвргнути ексцентричној компоненти тренинга, забележен је прираст од 6.0-7.8%, а код оних који су изводили концентричне вежбе, прираст је износио 3.5-8.6%, у зависности од нивоа мерења. На основу ових резултата, закључили су да ексцентрични модалитет тренинга доводи до значајније хипертрофије мишића од концентричног.

Поред разлика у тренажном модалитету, на величину прираста мишићне масе утичу и полне карактеристике. Трасу и сар. (10) су спровели тренажни програм на старијим мушкарцима и женама, у трајању од 9 недеља, и магнетном резонанцијом забележили сличан прираст површине *m. quadriceps*-а од 12%. Код мушкараца је, међутим, приказано статистички значајније повећање у апсолутним вредностима. Nakinen (13) је такође испитивао полне, а и старосне разлике у прирасту мишићне масе након 6-месечног тренинга. Ултрасонографски су измерене промене у површини *m. quadriceps*-а, и код мушкараца средњих година забележен је прираст од 4.9%, док код старијих 2.1%, а на популацији жена резултати су били 9.7% и 5.8%.

Након 4. недеље тренинга није утврђена повезаност између прираста површине попречног пресека мишићног ткива натколенице и максималне мишићне снаге екстензора потколенице ($p>0.05$), док се након 8. недеље тренинга ова повезаност показала статистички значајним ($p<0.01$). Ово је у сагласности са резултатима ранијих испитивања, које указују на значај улоге хипертрофије мишића у прирасту мишићне снаге тек од 4-6. недеље тренинга.

Теоријске основе модела, којим се објашњава иницијални прираст снаге мишића, поставили су Moritani и DeVries (14). Након електромиографских испитивања су дошли до закључка, да се рани прираст мишићне снаге, који није праћен адекватним повећањем мишићне хипертрофије, може приписати нервним факторима. Хипертрофија по њима преузима доминантну

улогу од 4 до 6 недеље тренинга, не искључујући међутим и даљи значај нервног утицаја. Од тада, многи истраживачи су прихватили овај концепт, и експериментално потврдили његову исправност.

ЗАКЉУЧАК

Нашим истраживањем можемо закључити следеће:

1) 8-недељни програмирани тренинг снаге са концентричном и ексцентричном компонентом доводи до значајног прираста максималне мишићне снаге екстензора потколенице.

2) Повећање површине попречног пресека мишићног ткива натколенице је значајније на крају 8. недеље тренажног програма, него након 4. недеље.

3) Прираст мишићне снаге екстензора потколенице до 4. недеље тренинга се не може објаснити искључиво повећањем мишићне масе натколенице, док је он у 8. недељи тренинга у великој мери је условљен повећањем површине попречног пресека мишићног ткива натколенице.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wilmore JH, Costill DL, eds. *Physiology of Sport and Exercise*. Champaign: Human Kinetics, 1999; 33-89.
2. Fleck SJ, Kraemer WJ, eds. *Designing resistance training programs*. Champaign: Human Kinetics, 1997; 13-34.
3. Bompa TO, ed. *Periodization Training for Sports*. Champaign: Human Kinetics, 1999.
4. Knapik JJ, Staab JS, Harman EA. Validity of an anthropometric estimate of thigh muscle cross-sectional area. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28(12):1523-30.
5. Higbie EJ, Cureton KJ, Warren III GL, Prior BM. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J Appl Physiol* 1996; 81(5):2173-81.
6. Enoka RM. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol* 1996; 81(6): 2339-46.
7. Tracy BL, Ivey FM, Hurlbut D, Martel GF, Lemmer JT, et al. Muscle quality. II. Effects of strength training in 65- to 75-year-old men and women. *J Appl Physiol* 1999;86(1):195-201.
8. Roth SM, Martel GF, Ivey FM, Lemmer JT, Metter EJ, Hurlley BF, et al. High-volume, heavy-resistance strength training and muscle damage in young and older women. *J Appl Physiol* 2000;88(3):1112-8.
9. Roth SM, Martel GF, Ivey FM, Lemmer JT, Tracy BL, Hurlbut DE, et al. Ultrastructural muscle damage in young vs. older men after high-volume, high-resistance strength training. *J Appl Physiol* 1999;86(6):1833-40.
10. Hug F, Marqueste T, Le Fur Z, Cozzone PJ, Grelot L, Bendahan D. Selective training-induced thigh muscles hypertrophy in professional road cyclists. *Eur J Appl Physiol* 2006; 97(5):591-7.
11. Tanimoto M, Ishii N. Effects of low-intensity resistance exercise with slow movements and tonic force generation on muscular function in young men. *J Appl Physiol* 2006;100(4): 1150-7.
12. Koutedakis Y, Sharp NC. Thigh-muscles strength training, dance exercise, dynamometry, and antropometry in professional ballerinas. *J Strength Cond Res* 2004;18(4):714-8.