

UTJECAJ TRENINGA JAKOSTI I SNAGE NA MIŠIĆNE STANICE

Stjepan Heimer

Fakultet za fizičku kulturu Sveučilišta u Zagrebu

Pregledni članak

UDK: 61:796

Primljeno: 17.02.1994.

Prihvaćeno: 18.07.1994.

Sažetak

Rad prikazuje najvažnije adaptacijske promjene u mišićnim stanicama, koje nastaju pod utjecajem duljeg sustavnog treninga jakosti i snage. Uočljivo je da nastale promjene čine lokalni strukturalni i fiziološki supstrat unapređenja dinamične i ergogene sposobnosti.

Ključne riječi: *trening jakosti, mišićna stanica, adaptacija*

Abstract

INFLUENCE OF STRENGTH AND POWER TRAINING ON MUSCLE CELLS

The paper shows the most important adaptation changes in muscle cells. The changes appear under the influence of a longer systematic power and strength training. It is evident that these changes constitute the local structural and physiological substrate for improving dynamogenic and ergogenic abilities.

Key words: *strength training, muscle cell, adaptation*

Zusammenfassung

EINFLUSS DES KRAFTTRAININGS AUF MUSKELZELLEN

Diese Arbeit stellt die wichtigsten Adaptationsveränderungen in den Muskelzellen dar, wobei diese Veränderungen das Resultat eines längeren systematischen Schnellkraft- und Krafttrainings sind. Es ist bemerkbar, daß diese Veränderungen das lokale strukturelle und physiologische Substrat der kraftentwicklung und der Arbeitsleistung fördern.

Schlüsselwörter: *Krafttraining, Muskelzelle, Adaptation*

Uvod

Mišićna stanica, a time i mišić u cjelini, ima veliku sposobnost adaptacijskih promjena, kako pod utjecajem akutne aktivnosti (npr. u toku treninga), tako i pod dugotrajnim utjecajima (npr. vezanim uz rast i razvoj organizma), ili u sportu pod utjecajem višemjesečnog i posebno višegodišnjeg treninga jakosti i snage. Već na početku ove teme treba naglasiti već utvrđeno da je ukupni broj mišićnih vlakana genetski određen, i da je on praktički jednak u muškaraca i žena, ali su kod muškaraca, pod utjecajem testosterona i njemu sličnih hormona, mišićne stanice po svojoj veličini izrazitije.

Hipertrofija

Akutne reakcije na trening očituju se u mišićnim stanicama prvenstveno u promjenama koncentracije određenih tvari vezanih uz aktualna energetska metabolička zbivanja. U pravilu se može utvrditi pad koncentracije ergogenih tvari u samom mišiću i povećanje koncentracije metabolita u aktivnim mišićima i u plazmi (Tablica 1).

Moglo bi se očekivati, da odgovarajući dugotrajni trening jakosti i snage djeluje na mišićno tkivo tako da se stanice, zbog adaptacijskih promjena, ili povećaju (hipertrofija) ili umnažaju (hiperplazija), ili pokazuju kombinaciju navedenih reakcija. Ipak, brojna su istraživanja dokazala, da mišićne stanice reagiraju na

trening jakosti i snage isključivo hipertrofijom, jer se umnažanje stanica kao izraz adaptacije na trening u čovječjem organizmu do sada nije mogao sigurno dokazati (Goldspink 1992, Goldspink i Ward 1979). Hipertrofija mišića, je dakle, najuočljiviji rezultat aktiviranja mehanizama adaptacije na dugotrajni trening jakosti i snage. Očituje se u povećanju mišićne mase, odnosno poprečnom presjeku i ukupnom volumenu mišića. Osnova takve anatomske promjene leži u jednokratnim ili višekratnim uzdužnim dijeljenjima miofibrila i stvaranju novih kontraktilnih bjelančevina (aktina i miozina). Dijeljenje miofibrila posljedica je dugotrajne i intenzivne tenzije aktinskih niti na strukturu z-ploče. Naime, smjer aktinskih niti na izlazištu iz učvršćenja na z-pločama nije na njih okomit, kako se najčešće prikazuje, već kos. Zbog toga dugotrajno i intenzivno djelovanje komponenata vlačnih sila aktinskih niti rastezanjem izaziva pucanje središnjih dijelova z-ploče, čime se izvorna miofibrila djelomično (pretežno u sporim vlaknima) ili potpuno (pretežno u brzim vlaknima) dijeli u dvije nove miofibrile mladice. Naknadno dolazi i do promjena na poprečnim cjevčicama i na sarkoplazmatskom retikulumu, čime se osigurava optimalno podražavanje novih kontraktilnih struktura.

Tablica 1. Koncentracije metaboličkih tvari u mišićima (mmol/kg) i u plazmi (mmol/l) prije i nakon 30 minuta treninga jakosti kod body buildera. (Tesch i sur. 1986, Essen-Gustavsson i Tesch 1990)

	prije	nakon	razlika
Mišić			
ATP	24.8	19.7	x
CP	89.5	45.8	x
Kreatin	50.8	100.0	x
Glukoza	1.5	8.2	x
Glukoza-6-fosfat	1.8	16.7	x
Glicerol-3-fosfat	5.7	14.1	x
Laktat	22.7	79.5	x
Glikogen	690	495	x
Trigliceridi	23.9	16.7	n.z.
Plazma			
FFA	0.22	0.22	n.z.
Glicerol	0.02	0.1	x
Glukoza	4.2	5.5	x
Laktat	3.8	11.7	x

* p < .05,
n.z. nije statistički znatno, p > .05

Izrazito djelovanje sila pri pojedinim dužinama mišića izaziva povećanje ili smanjenje broja sarkomera u seriji unutar miofibrile, čime se osigurava njihova optimalna dužina za ispoljavanje jakosti u zadanom položaju. Stvaranje i redukcija sarkomera zbiva se na distalnim krajevima miofibrile, te se pretpostavlja da se ključni mehanizam nalazi u području prelaza mišića u tetivu (muskulo-tendinozni spoj) (Herring i sur. 1984).

Sasvim je izvjesno da hipertrofija mišićnih stanica ovisi o dinamici anaboličkih i kataboličkih procesa vezanih uz kontraktilne bjelančevine. U uobičajenim uvjetima kod odraslih osoba ovi su procesi u ravnoteži, tako da se polovina postojećih kontraktilnih bjelančevina nadomjesti novim za 7-15 dana (Goldspink 1992). Važno je napomenuti, da organizam u resintezi novih bjelančevina koristi aminokiseline razgrađenih, tako da se osnovni supstrat zapravo ne gubi, već se samo ulaže dodatna anabolička energija. Pod utjecajem odgovarajućeg treninga jakosti i snage ugrađuju se u mišićne stanice bjelančevine dodatno unešenih aminokiselina, s tim, da se njihova sinteza dominantno zbiva u brzim vlaknima, a u slabijem opsegu na sporim. Taj je proces usko vezan na dominantno intenzivno podraživanje brzih vlakana u treningu jakosti i snage. Niža frekvencija živčanih impulsa djeluje na spora vlakna, tako da je hipertrofija pod utjecajem treninga aerobne izdržljivosti dominantna na sporim vlaknima. U tim vlaknima istovremeno dolazi i do stvaranja novih mitohondrija, povećanja koncentracije oksidativnih enzima i do povećanja gustoće kapilara oko mišićnih vlakana (Hoppeler i Lindstedt 1985, Goldspink i Waterson 1971). Trening izdržljivosti dovodi do povećanja koncentracije aerobnih enzima i u brzim vlaknima, tako da se aerobna izdržljivost znatno povećava u cjelokupnom mišiću.

Uočen je izvanredan značaj istezanja mišića (stretching) u procesima resinteze i sinteze novih kontraktilnih struktura. Po svemu sudeći to je prije rezultat autohtone mišićne reaktivnosti nego rezultat djelovanja senzomotoričkih refleksa. Primjena vježbi istezanja znatno djeluje na brzinu sinteze bjelančevina, a time i na brzinu stvaranja novih sarkomera (Goldspink i Goldspink 1986).

Utjecaj genskih mehanizama na adaptacijske procese u mišićnim stanicama

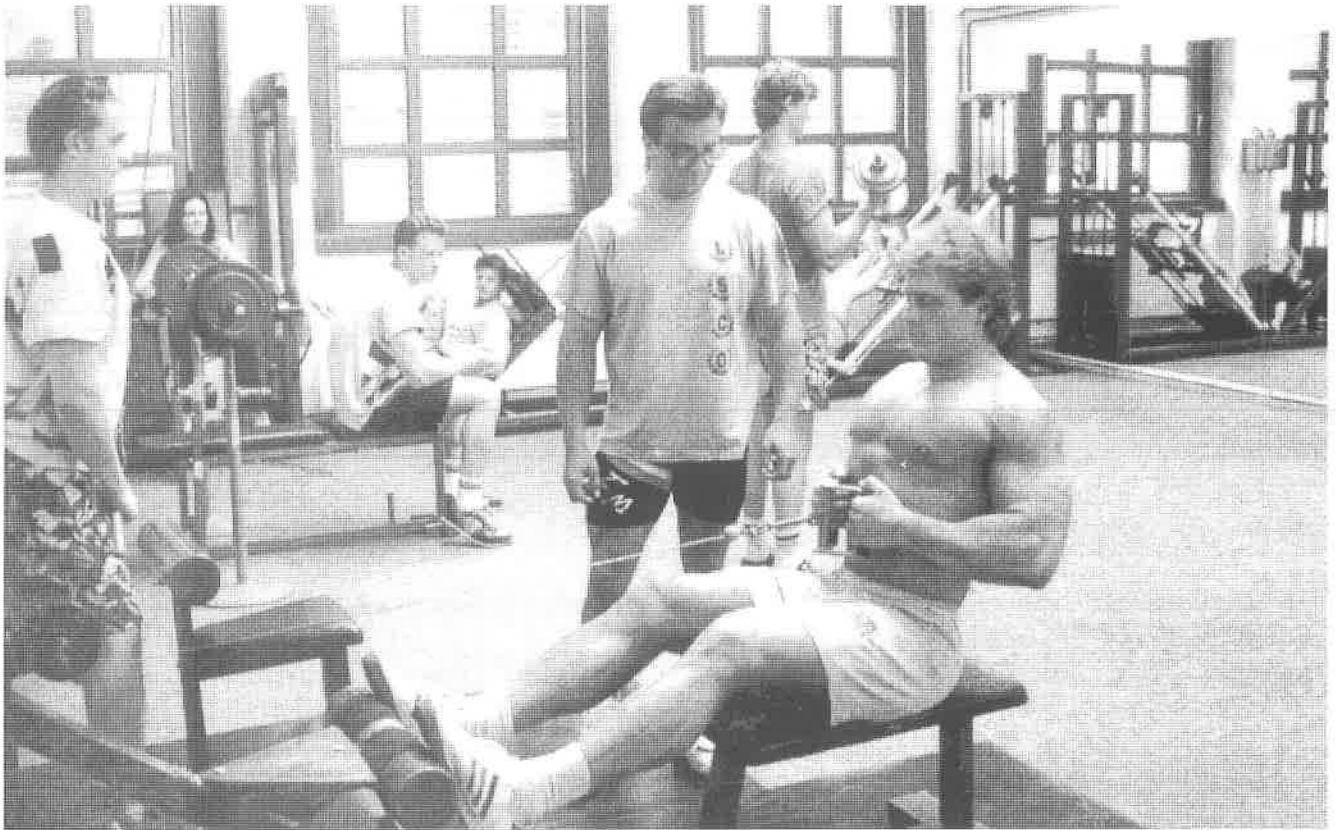
Ne smije se zaboraviti, da sva zbivanja u stanicama u osnovi određuju i reguliraju geni. Trenažni proces (egzogeni podražaj) utječe na genske mehanizme tako da se mijenja razina njihovog djelovanja. S tim u vezi uočeno je izvanredno visoko povećanje prisutnosti ribosomske RNK (250%) u toku procesa hipertrofije, što nesumnjivo ukazuje na višu razinu uključenja genskog mehanizma. Zapravo, povećanje količine ribosoma u mišićnim stanicama prethodi svim lokalnim procesima hipertrofije (Goldspink 1992).

Novija zapažanja nekih autora - da aerobni trening izaziva pretvaranje dijela brzih vlakana u spora, ali ne i obrnuto pod utjecajem trenažnih podražaja visokih intenziteta anaerobnog tipa - upućivala bi na zaključak o manjkavosti "brzih" gena, odnosno o komparativnoj dominantnosti "sporih" gena. Sličan pomak pod utjecajem treninga jakosti, ali i aerobnog treninga, uočen je transformacijom vlakana tipa IIb u tip IIa (glikolitički u glikolitičko-oksidativni). Sam mehanizam djelovanja na gene na staničnoj razini nije još sasvim jasan, ali bi se mogao pripisati promjenama u koncentraciji metabolita ili razini kalcijevih iona. Ipak treba upozoriti, da postoje grupe istraživača, koje nisu mogle utvrditi pretvorbu vlakana, tako da danas o tome još ne postoji jedinstveno mišljenje (Goldspink 1992).

Uobičajeni trening jakosti povećava poprečni presjek obaju tipova vlakana. To povećanje ovisi o brojnim činiteljima, koji se odnose na karakteristike treninga, ali i na reaktivnost mišićnih stanica na primijenjeni podražaj (Mac Dougall 1986). Istraživanja su pokazala da upravo reaktivnost određuje veličinu promjena, jer su različite osobe oba spola ispoljile promjene koje su se protezale od gotovo nikakvih, do preko 30% ishodišne mase. Značajniju reaktivnost u svih ispitanika ispoljila su "brza" vlakna (30-33% povećanja presjeka u prethodno netreniranih "običnih" osoba, do 58% kod body-buildera), dok je hipertrofija "sporih" vlakana bila znatno manja (14-27% u prethodno netreniranih, do 39% kod body-buildera) (Salwi sur. 1990, Mac Dougall i sur. 1979).

Čak i kod žena poslije menopauze u dobi od 52-68 godina gotovo jednogodišnji trening povećao je ukupno poprečni presjek bicepsa za oko 20% (Moroz i sur. 1990). Međutim, primjenom sličnog treninga i iste metodologije mjerenja, kod dječaka prije puberteta nije se moglo ustvrditi nikakvo povećanje u poprečnom presjeku mišića (Ramsay i sur. 1990).

Gornji podaci ukazuju da je relativna hipertrofija izraženija u brzim mišićnim stanicama, što su ustvrdile i različite grupe nezavisnih istraživača (Mac Dougall i sur. 1979, Thorstensson 1976, Tech i sur. 1985, Staron i sur. 1989). Objašnjenje se nalazi u reaktivnim karakteristikama brzih vlakana, koja su pri gotovo maksimalnim ili



maksimalnim kontrakcijama zbog svog visokog praga podražaja znatnije uključene u izvođenje takvih kontrakcija, te su i više podložne promjenama pod utjecajem treninga jakosti i snage nego spora vlakna, na koja više utječe aktivnost nižeg intenziteta.

Važno je napomenuti da, proporcionalno povećanju količine kontraktilnih elemenata, dolazi i do umnažanja sarkoplazmatskog retikuluma i t-cjevčica, tako da je volumni odnos ovih struktura prema miofibrilama i nakon pojave hipertrofije mišićnih vlakana nepromijenjen (Alway i sur. 1989).

Promjene u broju i gustoći kapilara

Posebno su zanimljivi nalazi o utjecaju različitih modaliteta treninga na odnos broja i gustoće kapilara prema mišićnim stanicama. Dok trening aerobne izdržljivosti izaziva povećanje broja kapilara na jedno mišićno vlakno, odnosno povećanje njihove gustoće na jedinicu površine presjeka, trening jakosti i snage pokazuje drugačiji efekt. Naime, dugotrajni maksimalni trening snage dovodi do izrazite hipertrofije mišićnih stanica, dok na stvaranje kolateralna ili novih kapilara nema utjecaja. Tako je kod vrhunskih dizača utega utvrđen niži broj kapilara na jedno mišićno vlakno, odnosno njihova manja gustoća na jedinicu površine presjeka, u

usporedbi s nalazima kod netreniranih osoba. Zbog razlike u karakteristikama treninga, kod body-buildera je odnos broja ili gustoće kapilara nešto povoljniji, nego u dizača utega (Schantz 1982, Tesch i sur. 1984).

Promjene na supstratima odgovornim za aerobne energetske procese

Sličan utjecaj spomenuti modaliteti treninga imaju i na gustoću mitohondrija. Povećanje njihove gustoće u mišićnim stanicama usko je vezano uz trening aerobne izdržljivosti, dok trening jakosti i snage rezultira relativnim smanjenjem gustoće mitohondrija, a time i relativnim smanjenjem koncentracije aerobnih enzima i relativnim padom aerobne izdržljivosti treningom jakosti hipertrofiranih mišića (Seiden 1976). Slične promjene utvrđene su i za sadržaj mioglobina, pa pad njegove koncentracije pod utjecajem treninga jakosti i snage sa svoje strane reducira razinu mišićne aerobne sposobnosti (Seiden 1976).

Iz pregleda je uočljivo, da su adaptacijski procesi u mišićima pod utjecajem treninga jakosti i snage ciljano usmjereni unapređenju dinamogene i ergogene sposobnosti sportaša.

Literatura

1. Alway, S.E., MacDougall, J.D. & Sale, D.G. (1989a) Contractile adaptations in the human triceps surae after isometric exercise. *Journal of Applied Physiology*, 66, 2725-32.
2. Brown, A.B., McCartney, N., Moroz, D., Sale, D. & MacDougall, J.D. (1988) Strength training effects in aging. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20, S80.

3. Essen-Gustavsson, B.M. & Tesch, P.A. (1990) Glycogen and triglyceride utilization in relation to muscle metabolic characteristics in men performing heavy resistance 3 exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 61, 5-10.
4. Goldspink, G. (1971) Ultrastructural changes in striated muscle fibres during contraction and growth with particular reference to the mechanism of myofibril splitting. *Journal of Cell Science*, p. 123-38.
5. Goldspink, G. (1992) Cellular and Molecular Aspects of Adaptation in Skeletal Muscle. *Strength and power in sport*, ed. P.V.Komi, str. 221-229.
6. Goldspink, D.F. & Goldspink, G. (1986) *The role of passive stretch in retarding muscle atrophy*. In W.A. Niw & G. Vrbova (eds) *Electrical Stimulation and Neuromuscular Disorders*, pp. 91-100. Springer Verlag, Berlin.
7. Goldspink, G. & Ward, P.S. (1979) Changes in rodent muscle fibre types during post-natal growth, undernutrition and exercise. *Journal of Physiology*, 296, 453-69.
8. Goldspink, G. & Waterson, S.E. (1971) The effect of growth and inanition on the total amount of Nitroblue tetrazolium deposited in individual muscle fibres of fast and slow skeletal muscle. *Acta Histochemica*, 40, 16-22.
9. Herring, S.W., Grimm, A.F. & Grimm, B.R. (1984) Regulation of sarcomere number in skeletal muscle: a comparison of hypotheses. *Muscle and Nerve*, 7, 161-73.
10. Hoppeler, H. & Lindstedt, S.L. (1985) Malleability of skeletal muscle in overcoming limitations: structural elements. *Journal of Experimental Biology*, 115, 355-64.
11. MacDougall, J.D. (1986) *Adaptability of muscle to strength training-a cellular approach*. In B. Saltin (ed) *Biochemistry of Exercise VI*, Vol. 16. pp. 501-13.
12. MacDougall, J.D., Sale, D.G., Alway, S.E. & Sutton, J.R. (1984) Muscle fiber number in biceps brachii in bodybuilders and control subjects. *Journal of Applied Physiology*, 57, 1399-1403.
13. MacDougall, J.D., Sale, D.G., Moroz, J.R., Elder, G.C.D., Sutton, J.R. & Howald, H. (1979) Mitochondrial volume density in human skeletal muscle following heavy resistance training. *Medicine and Science in Sports*, 11, 164-6.
14. Moroz, D.E., Sale, D.G., Webber, C.E. & MacDougall, J.D. (1990) The effect of strength and endurance training on bone in post menopausal women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, S64.
15. Ramsay, J., Blimkie, C.J.R., Sale, D., MacDougall, D., Smith, K & Garner, S. (1990) Effects of 20 weeks of resistance training on muscle morphology, voluntary strength and evoked contractile properties in prepubertal boys. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, 605-14.
16. Sale, D.G., MacDougall, J.D., Jacobs, I. & Garner, S. (1990) Interaction between concurrent strength and endurance training. *Journal of Applied Physiology*, 68, 260-70.
17. Schantz, P. (1982) *Capillary supply in hypertrophied human skeletal muscle*. *Acta Physiologica Scandinavica*, 114, 635-7.
18. Seiden, D. (1976) A quantitative analysis of muscle cell changes in compensatory hypertrophy and work-induced hypertrophy. *American Journal of Anatomy*, 145, 459-68.
19. Staron, R.S., Malicky, E.S., Leonardi, M.J., Falkel, J.E., Hagerman, F.C. & Dudley, G.A. (1989) Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance trained women. *European Journal of Applied Physiology*, 60, 71-9.
20. Tesch, P.A., Colliander, E.B. & Kaiser, P. (1986) Muscle metabolism during intense, heavy resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 55, 362-6.
21. Tesch, P.A., Hakinen, K. & Komi, P.V. (1985) The effect of strength and detraining on various enzyme activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17, 245.
22. Tesch, P.A., Thorsson, A. & Kaiser, P. (1984) Muscle capillary supply and fiber type characteristics in weight and power lifters. *Journal of Applied Physiology*, 56, 35-8.
23. Thorstenson, A. (1976) *Muscle strength, fiber types and enzyme activities in man*. *Acta Physiologica Scandinavica*, 433 (suppl.), 1-44.